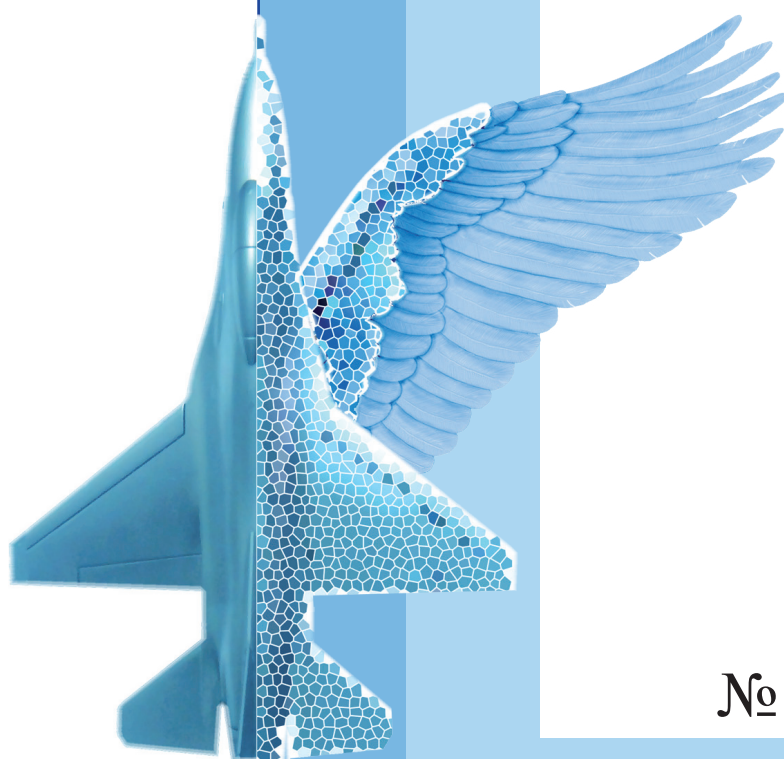


# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



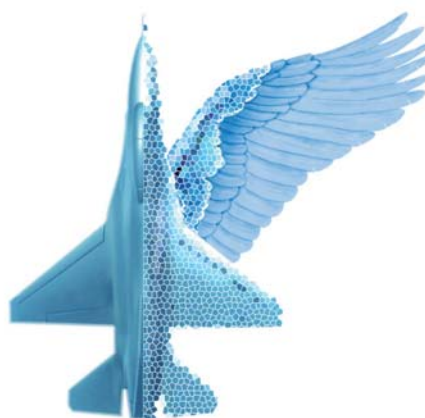
Том 8  
№ 2(28)/2018

**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

Том 8

№ 2(28)



## EDITORIAL BOARD – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Anatoly I. Belousov	Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Nikolay M. Borgest	Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., профессор, Самарский университет, член ИАОА, Самара
Stanislav N. Vasiliev	Васильев Станислав Николаевич*, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва
Vladimir G. Gainutdinov	Гайнутдинов Владимир Григорьевич, д.т.н., профессор, КНИТУ-КАИ, Казань
Vladimir V. Golenkov	Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск
Vladimir I. Gorodetsky	Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, СПИИРАН, Санкт-Петербург
Yury A. Zagorulko	Загорюлько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск
Anton V. Ivashchenko	Иващенко Антон Владимирович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Alexander S. Kleshchev	Клещёв Александр Сергеевич*, д.ф.-м.н., профессор, ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Valery A. Komarov	Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Sergey M. Krylov	Крылов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара
Victor M. Kureichik	Курейчик Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, Таганрог
Dmitry V. Landa	Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев
Lyudmila V. Massel	Массель Людмила Васильевна*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск
Aleksandr Yu. Nesterov	Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара
Dmitry A. Novikov	Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, Москва
Alexander V. Palagin	Палагин Александр Васильевич, д.т.н., проф., академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, Киев
Semyon A. Piyavsky	Пиавский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара
Yury M. Reznik	Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва
George Rzevski	Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон
Peter O. Skobelev	Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», Самара
Sergey V. Smirnov	Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН, Самара
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович*, д.т.н., профессор, УлГТУ, Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шевкетович*, д.т.н., профессор, академик, вице-президент АН РТ, Казань
Boris E. Fedunov	Федунов Борис Евгеньевич*, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, Москва
Altynbek Sharipbay	Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, Астана
Boris Ya. Shvedin	Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член ИАОА, Ростов-на-Дону

\* - члены Российской ассоциации искусственного интеллекта - [http://www.raai.org/about/about.shtml?raai\\_list](http://www.raai.org/about/about.shtml?raai_list)

## Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Chief Editor	Skobelev P.O.	Главный редактор	Скобелев П.О.	в.н.с. ИПУСС РАН
Deputy Chief Editor	Smirnov S.V.	Зам. главного редактора	Смирнов С.В.	зам. директора 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.	доцент Самарского университета
Technical Editor	Simonov A.U.	Технический редактор	Симонова А.Ю.	редактор изд-ва «Новая техника»
Translation Editor	Korovin M.D.	Редактор перевода	Коровин М.Д.	инженер Самарского университета

## CONTACTS FOUNDERS – КОНТАКТЫ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

### ИПУСС РАН

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

Смирнов С.В.  
smirnov@iccs.ru

### Самарский университет

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

Боргест Н.М.  
borgest@yandex.ru

### ООО «Новая техника» (издательство)

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

The journal has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of JOURNAL can be found in the EBSCOhost™ databases.



Журнал размещен в коллекции «Издания по естественным наукам» на платформе EastView.

The journal has been successfully evaluated in the evaluation procedure for the ICI Journals Master List 2014, 2015 and journal received the ICV (Index Copernicus Value) of 67.46 points (2014), 67.64 (2015), 77.98 (2016).

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (Письмо Департамента аттестации научных и научно-педагогических работников Минобрнауки РФ от 01.12.2015 № 13-6518) по группам научных специальностей 05.13.00 и 05.07.00.

Журнал включён в РИНЦ. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 1.000 (2013), 0.895 (2014), 1.305 (2015), 1.037 (2016), 0.913 (2017).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-70157 от 16.06.2017 г. (ранее выданное свидетельство ПИ № ФС 77-46447 от 07.09.2011 г.)

[http://agora.guru.ru/scientific\\_journal/](http://agora.guru.ru/scientific_journal/)

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей  
© ООО «Новая техника» - «New Engineering» Ltd., 2011-2018  
© Самарский университет - Samara University, 2015-2018  
© ИПУСС РАН - ICCS RAS, 2015-2018



Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.  
Дата выхода 30.06.2018. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **ОТ РЕДАКЦИИ**

МОДНЫЙ ТРЕНД: ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА 173-174

### **ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

**И.Б. Фоминых** 175-189  
ИНЖЕНЕРИЯ ОБРАЗОВ, ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ

**В.В. Попков** 190-207  
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЗАКОН ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ  
В ПРОСТРАНСТВЕ КОНТРАРНЫХ И КОНТРАДИКТОРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ

**А.М. Бекарев, Г.С. Пак** 208-218  
ЭТИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭПИСТЕМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

### **ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**А.С. Клещев, В.А. Тимченко** 219-239  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ СИСТЕМ  
ВЕРИФИКАЦИИ ИНТУИТИВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ

**А.И. Водяхо, В.В. Никифоров** 240-252  
ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

**В.И. Воробьев, Т.В. Монахова** 253-264  
МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАДААННЫХ В ФОРМАТЕ XML

### **ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ**

**М.А. Грищенко, Н.О. Дородных, С.А. Коршунов, А.Ю. Юрин** 265-284  
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

**А.В. Семенова, В.М. Курейчик** 285-295  
ОПТИМИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

### **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**С.В. Микони** 296-304  
ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ  
С ПОЗИЦИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН

**КОММЮНИКЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО САММИТА 2018  
«КОНТЕКСТ В КОНТЕКСТЕ»** 305-316

## CONTENT

<b>FROM THE EDITORS</b>	
MODERN TREND: DIGITAL ECONOMY	173-174
<b>GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS</b>	
<b>I.B. Fominykh</b>	175-189
MENTAL IMAGE ENGINEERING, CREATIVE PROBLEMS, EMOTIONAL EVALUATIONS	
<b>V.V. Popkov</b>	190-207
THE UNIVERSAL LAW OF INVARIANT TRANSFORMATIONS IN SPACE OF CONTRARY AND CONTRADICTORY LOGICAL	
<b>A.M. Bekarev, G.S. Pak</b>	208-218
ETHICAL CONTEXT OF DESIGNING EPISTEMIC OBJECTS	
<b>APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING</b>	
<b>A.S. Kleschev, V.A. Timchenko</b>	219-239
THEORETICAL FOUNDATIONS FOR CREATION OF A SHELL FOR INTERACTIVE SYSTEMS OF INTUITIVE MATHEMATICAL PROOFS VERIFICATION	
<b>A.I. Vodyaho, V.V. Nikiforov</b>	240-252
ONTOLOGY MODELS FOR REAL TIME SYSTEMS	
<b>V.I. Vorobjev, T.V. Monakhova</b>	253-264
PROTECTION OF METADATA IN XML FORMAT	
<b>ONTOLOGY ENGINEERING</b>	
<b>M.A. Grischenko, N.O. Dorodnykh, S.A. Korshunov, A.Yu. Yurin</b>	265-284
ONTOLOGY-BASED DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC INTELLIGENT SYSTEMS	
<b>A.V. Semenova, V.M. Kureichik</b>	285-295
ONTOLOGY MAPPING USING THE METHOD OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	
<b>METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING</b>	
<b>S.V. Mikoni</b>	296-304
FORMATION OF GENERALIZED INDICATORS OF THE TRANSPORT SYSTEM FROM THE POSITIONS OF STAKEHOLDERS	
<b>ONTOLOGY SUMMIT 2018 COMMUNIQUÉ - CONTEXTS IN CONTEXT</b>	305-316



## МОДНЫЙ ТРЕНД: ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА MODERN TREND: DIGITAL ECONOMY

*«Цифровая экономика» — это не отдельная отрасль, по сути, это уклад жизни, новая основа для развития системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, всего общества.*

Владимир Путин

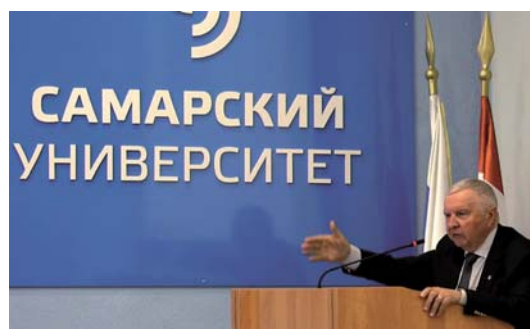
### Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

Цифровизация всей страны и всего человечества идёт и развивается бурными темпами. И здесь без *онтологии*, без концептуального моделирования, формализации процессов и, в конечном итоге, «оцифровывания» предметных областей, без семантической интероперабельности, смысловой и содержательной согласованности данных и знаний - *не обойтись*.

Согласно Указу Президента России от 15 мая 2018 года «О структуре федеральных органов исполнительной власти» в Российской Федерации наряду с Министерством экономического развития создано путём переименования и *Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций*.

Распоряжением Правительства России от 28 июля 2017 года была утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации», в которой определены цели, задачи, направления и сроки реализации основных мер государственной политики по созданию необходимых условий для развития в России цифровой экономики. В такой экономике данные в цифровом виде являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности.

В Самарском университете 14 февраля 2018 г. для реализации государственной программы цифровой экономики и в целях исполнения Плана мероприятий по реализации программы повышения конкурентоспособности Самарского университета создан научно-образовательный консорциум (НОК) «Цифровая экономика». Научный руководитель НОК, президент Самарского университета, академик *Сойфер Виктор Александрович* 19 апреля 2018 в ходе своей лекции<sup>1</sup> раскрыл понятие «цифровая экономика», показал влияние цифровых технологий и оцифрованных бизнес-процессов на повседневную жизнь, рассказал о глобальных изменениях, которые ждут общество.



Главные сферы жизни человека — экономика и управление, промышленное производство, наука, здравоохранение, образование, безопасность — благодаря цифровизации обретают новые формы и содержание. Умный город, IT-медицина и т.п. – тренды ближайшего будущего и уже часть нашей сегодняшней жизни. Чтобы оценить, какие перспективы открывает цифровое будущее, нужно понимать, какими основными инструментами оперирует цифровая экономика. Среди них: большие данные, облачные технологии, Интернет вещей, криптовалюта и, конечно, *искусственный интеллект*.

<sup>1</sup><http://ssau.ru/news/15368-Umnyy-gorod-IT-medicina-internet-veschey-o-trendakh-blizhayshego-buduschego-rasskazhet-akademik-RAN-Viktor-Soyfer/>



Так, в новой «Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года»<sup>2</sup>, утверждённой Правительством 28 апреля 2018 г., ставится задача до 2025 года завершить разработку и вывод на рынок новых продуктов и услуг в следующих областях:

- системы управления и *искусственного интеллекта* - до 2020 года;
- системы позиционирования - до 2020 года;
- открытая *цифровая платформа проектирования* и сертификации беспилотных транспортных средств и транспортные средства на электрической тяге - до 2022 года;
- техническое зрение - до 2022 года;
- тяговый батарейный модуль и силовые электрические машины - до 2022 года;
- микроклимат и машинный интерфейс - до 2025 года;
- модульные (электрические) платформы - до 2025 года.

При этом намечается довести доли электромобилей на российском рынке до 5%, а беспилотных легковых автомобилей (3-й уровень SAE<sup>3</sup>) - до 2%. Транспортные средства уровня 3 могут ускоряться или замедляться, а также пропускать другие автомобили без участия человека. Они также могут маневрировать вокруг «инцидентов» или «пробок». Системы уровня 3 позволяют водителям освободить руки и ноги от управления, но только в определённых ситуациях. За людьми пока остаётся готовность взять управление, когда автомобиль «просит» об этом<sup>4</sup>...

В этом номере журнала мы продолжаем публиковать работы, в которых исследователи из разных городов нашей страны от Балтики до Тихого океана стремятся предложить свои способы структуризации и формализации знаний. Так, профессор из Москвы И.Б. Фоминых рассуждает об инженерии образов, творческих задачах и оценках, философы из Нижнего Новгорода А.М. Бекарев и Г.С. Пак рассматривают этический контекст проектирования, профессор из Екатеринбурга В.В. Попков предлагает универсальный закон преобразований логических форм и демонстрирует его на примере экономических структур, а профессор из Санкт-Петербурга С.В. Микони исследует формирование обобщённых показателей транспортной системы. Молодые исследователи из Иркутска разработали на основе онтологий интеллектуальные диагностические системы, а учёные из Владивостока - теоретические основы системы верификации математических доказательств. Свой вклад в формализацию процессов и разработку интеллектуальных систем на основе онтологий предлагают учёные из Таганрога и Санкт-Петербурга.

Особо стоит отметить перевод очередного Коммюнике онтологического саммита 2018, который редакция подготовила для своих читателей. Тема Коммюнике «*Контекст в контексте*» никого не оставит равнодушной (бурные дискуссии между членами Международной ассоциации прикладных онтологов продолжаются и по сей день на форумах в Интернете), т.к. все мы вовлечены в коммуникации и передачи смыслов, трудно передаваемых используемыми языками.

*Уважаемый автор!*

Мы по-прежнему ждём *новых результатов* в области формализации знаний, практического использования таких моделей для создания лучшего будущего!  
*Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!*

---

<sup>2</sup><http://economy.gov.ru/wps/wcm/connect/03cd8cc2-1005-4c33-beac-3a1b6430c4f3/831.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=03cd8cc2-1005-4c33-beac-3a1b6430c4f3>

<sup>3</sup> Society of Automotive Engineers - <https://www.sae.org/>

<sup>4</sup> Jeff Davis. Dreaming of Driverless: What's the Difference Between Level 2 and Level 5 Autonomy? January 25, 2018. - <https://blogs.nvidia.com/blog/2018/01/25/whats-difference-level-2-level-5-autonomy/>

УДК 007.5

## ИНЖЕНЕРИЯ ОБРАЗОВ, ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ

**И.Б. Фоминых**

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия  
igborfomin@mail.ru

### Аннотация

В статье описаны некоторые итоги развития и отражения образного мышления и интуиции специалиста в системах искусственного интеллекта. Рассматриваются вопросы построения инженерии образов, в том числе основные отличия образа от понятия, в особенности, различия между образным и понятийным механизмами обработки информации (решения задач). Показана ведущая роль нейросетевых и нечётких моделей при компьютерной реализации элементов образного мышления. Раскрывается природа творческих задач, характеризующаяся выявлением и разрешением противоречий в условиях решаемых задач. Особое внимание уделено роли интуиции и эмоций в решении творческих задач. Обсуждаются важные функции эмоций как инструмента управления поведением, средства мобилизации творческих ресурсов и механизма оценки типа внутрисистемного критика. Вводится алгебра эмоций, позволяющая вычислять величину и знак сложной эмоции с помощью простых операций над её составляющими. Строится бинарное дерево эмоций на основании рефлексивных оценок. Определяются основные характеристики эмоциональных состояний. Новизна работы связана с развитием аппарата алгебры эмоций, энтропийного описания характеристик эмоциональных состояний и построения дерева эмоций как способа определения вторичных эмоций путём оценок успехов или неудач других людей.

**Ключевые слова:** инженерия образов, творческая задача, противоречие, интуиция, рефлексия, поиск решения, алгебра эмоций, эмоциональные состояния, дерево эмоций.

**Цитирование:** Фоминых И.Б. Инженерия образов, творческие задачи, эмоциональные оценки / И.Б. Фоминых // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.175-189. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-175-189.

### Введение

20 лет назад, в марте 1998 года, по инициативе профессора Д.А. Поспелова в г. Переславль–Залесский состоялся научный семинар «Отражение образного мышления и интуиции специалиста в системах искусственного интеллекта», задавший импульс развитию новой парадигмы искусственного интеллекта (ИИ), предполагающей интеграцию логических и образных представлений. В статье сделана попытка подвести некоторые итоги этого развития.

Как неоднократно отмечалось (см., например, [1-3]), в основе человеческого механизма познания лежит гибридная интеллектуальная когнитивная система, в которой образная (правополушарная) и символично-логическая (левополушарная) компоненты тесно связаны. Полушария по-разному воспринимают явления окружающей среды, различна их роль в творческой работе мозга, неодинаково их отношение ко времени, какими-то свойствами обладает только одно полушарие, другими — оба, но в разной степени, и все эти связи взаимодействуют сложнейшим образом. Специализация полушарий заключается не только в характере обрабатываемой информации, но и в самом процессе обработки. Левое — действует пошагово, логически последовательно [4]. Большинство реальных задач, решаемых при управлении, проектировании, прогнозировании, мониторинге и т.п. — всегда многофакторные со сложной корреляцией параметров, и критерии оценки результата часто неоднозначны, а ино-



гда и противоречивы. Отсюда возникают сложности в принятии решения, особенно при жёстких ресурсных ограничениях и наличии Не-факторов<sup>1</sup>. Напротив, при активации правого полушария процесс поиска решения — высокоскоростной, без пошаговой логики и, как правило, без *фиксации в сознании*. При этом человек испытывает эмоциональный подъём, вдохновение, обостряется его чувственно-эмоциональное восприятие.

## **1 Инженерия образов**

Предварительно дадим краткий обзор идей и соображений участников упомянутого семинара 1998 г., связанных с проблемами отражения образного мышления в интеллектуальных системах и реализацией инженерии образов.

В [3] Д.А. Поспелов пишет, что в ИИ для моделирования образных компонентов мышления в перспективе следует перейти от одной системы понятий к другой системе понятий, связанных с целостностью и кумулятивностью образа, его равновесием и простотой, распределённостью и динамикой. По его мнению, уравновешенность зрительного образа является аналогом истины в логике, а идея его фокусировки и стабилизации путём упрощения непосредственно связана с наличием у человека системы врождённых эталонов. Следуя таким представителям школы гештальт-психологии как М. Вергеймер и В. Кёлер, он полагает, что образ есть целостный гештальт, и в этом состоит его кардинальное отличие от понятия. В символично-логических моделях ИИ из одних утверждений выводятся другие. Но в ИИ практически отсутствуют механизмы порождения образов из других образов.

В [5] О.П. Кузнецов наряду с целостностью образа выделяет быстроту обработки образов человеком и связывает её с «врождёнными нейротехнологиями». В результате им был построен аппарат псевдооптических нейронных сетей как модель работы с системами образов.

В [6-8] Ю.Р. Валькман справедливо отмечает, что содержание термина «образ» (image) у психологов, занимающихся исследованием образного мышления, существенно отличается от образов в кибернетическом понимании (в теории распознавания образов); фактически в кибернетике образ определяется через набор признаков, так же, как и понятие в логике. В психологии же образ есть целостное субъективное представление объектов окружающего мира.

Образ есть мысленная картина, идея или впечатление. Образное мышление совершается в форме связи и сочетания образов. Его основная функция состоит в создании чувственных (вторичных) образов и оперировании ими в процессе решения задач.

В психологии понимание механизмов создания различных образов опирается на психические функции и процессы. Так в [9] В.Б. Тарасовым были указаны следующие характеристики психических образов:

- двуединая природа, функциональный дуализм (образ как продукт отражения и регулятор действия), с чем связана идея его квантования, т.е. выделения адекватного задаче уровня регуляции и соответствующего когнитивного интервала;
- многоуровневое строение образов в когнитивной системе – восприятие, представление, воображение;
- возможность построения антиципирующих образов, т.е. образов будущего (опережающее отражение по П.К. Анохину);
- сопоставление текущего образа с эталонным (образ-цель).

---

<sup>1</sup> О «Не-факторах» см., например, статью в 1-ом номере журнала за 2018 год: Валькман Ю.Р., Тарасов В.Б. «От онтологий проектирования к когнитивной семиотике», а также работу Нариньяни А.С. «Инженерия знаний и НЕ-факторы: краткий обзор 08» - <http://www.computer-museum.ru/frgnhist/ne-faktor.htm>. *Прим. ред.*

Рассмотрим образы восприятия, представления и воображения [6-10]. *Восприятие* есть целостное отражение предметов, ситуаций и событий, возникающее при непосредственном воздействии объектов внешнего мира (раздражителей) на систему рецепторов. Соответственно, *образ восприятия* формируется при непосредственном внешнем воздействии и подразумевает наличие физического объекта-оригинала. Его ключевой характеристикой является константность, т.е. относительная независимость образа объекта от изменения внешних условий его наблюдения.

Следующий уровень когнитивной системы – это уровень *представлений*, к которым относятся образы предметов, событий, ситуаций, возникающие в памяти (на основе процессов припоминания). Представление есть вторичный, опосредованный образ, который, как правило, формируется на основе многократного восприятия объекта-оригинала, но без текущего воздействия внешних раздражителей на органы чувств. *Образ-представление* выступает как своего рода мост между восприятием и образным мышлением.

Наконец, *образ воображения* есть также вторичный образ, который возникает без непосредственных внешних воздействий, опирается на процессы порождения образов из образов и относится к будущему. Это вымышленный образ, никогда ранее не воспринимавшийся и часто не имеющий аналогов в окружающей действительности. Именно с такими образами связывают продуктивное, творческое мышление. Воображение предполагает погружение человека в свой внутренний мир и создание в нём образов, картинок и идеалов.

Важнейшим механизмом, обеспечивающим переходы между когнитивными уровнями, является грануляция информации, связанная с процессами абстрагирования (в частности, создания образца) и конкретизации (приведения примера, иллюстрации чего-либо) [10].

В [11] Б.А. Кобринским было предложено понятие «образный ряд». Определённому зрительному образу или вторичным образам, возникающим при воспоминаниях, может соответствовать множество близких изображений, которые можно рассматривать как образный ряд. Такие ряды можно трактовать как когнитивные фреймовые структуры, где фрейму соответствует типичный представитель образного ряда (архетип), а слотам соответствуют образы данного типа, различающиеся по отдельным невербализуемым или трудно вербализуемым характеристикам. Большой интерес представляет создание наглядных лингво-образных баз знаний на основе образных рядов.

Излагаемая в статье концепция инженерии образов основана на принципе максимума информации, сформулированном Г.А. Голицыным [1, 2]. Принцип максимума исходит из того, что поведение адаптивных систем любой природы (биологических, технических, социальных) требует обеспечения *максимума взаимной информации* для её наилучшей адаптации к среде. Количественной мерой адаптации служит средняя взаимная информация  $I$  между условиями среды и реакциями системы:

$$I(x,y) = \log[p(x,y)/p(x)p(y)] = \log[p(x|y)/p(x)],$$

где  $p(x)$ ,  $p(y)$  - безусловные вероятности событий  $x$  и  $y$ ;

$p(x,y)$  - взаимная вероятность событий  $(x,y)$ ;

$p(x|y)$  - условная вероятность наступления  $x$  при условии наступления  $y$ .

Это выражение имеет достаточно ясный физический смысл: если событие (условие)  $y$  повышает вероятность события  $x$  (так, что  $p(x|y)$  больше  $p(x)$ ), то значит между событиями  $x$  и  $y$  есть связь. И мерой этой связи служит взаимная информация  $I(x,y)$ . Будем рассматривать события  $x$  и  $y$  как реализацию значений некоторых случайных дискретных переменных  $X$  и  $Y$ . В общем случае переменные  $X$ ,  $Y$  являются векторами. Теперь среднюю взаимную информацию между переменными  $X$  и  $Y$  можно определить следующим образом:

$$I(X,Y) = \sum_x \sum_y p(x,y) \log [p(x|y)/p(x)] = \sum_y p(y) \sum_x p(x|y) \log [p(x|y)/p(x)] = H(X) - H(X|Y),$$

где  $H(X) = - \sum_x \sum_y p(x,y) \log p(x)$  - безусловная энтропия (разнообразие или собственная информация, содержащаяся в  $x$ );

$H(X/Y) = - \sum_x \sum_y p(x,y) \log p(x|y) = - \sum_y p(y) \sum_x p(x|y) \log p(x|y)$  - условная энтропия, отражающая наличие помех в «информационном канале», неоднозначностей в связях между  $X$  и  $Y$  или «разнообразие ошибок», возникающих при передаче информации между  $X$  и  $Y$ .

Тогда справедливо следующее соотношение:

$I(X,Y) = \sum_x \sum_y p(x,y) \log [p(x|y)/p(x)] \rightarrow \max$ , где  $X, Y$  - случайные дискретные переменные.

Итак, взаимная информация представляет собой некоторый функционал качества.

При этом не следует понимать взаимную информацию слишком узко, только как количественную меру полученных «сведений». Это весьма частный случай. В общем случае информация есть некоторая статистическая мера связи между двумя переменными: чем сильнее связь, тем больше взаимная информация. Другой подобной мерой взаимодействия является коэффициент корреляции. Обе эти меры тесно связаны друг с другом, но взаимная информация является в некоторых отношениях более общей и универсальной. Она, например, применима и в том случае, когда переменные не являются упорядоченными множествами.

Кроме того, К. Шеннон [12], вводя свою меру информации, опирался на понятие вероятности. Это было связано с природой тех задач в технике связи, из которых выросла теория информации. Однако позднее А.Н. Колмогоров показал [13], что величину  $p(x)$  не обязательно интерпретировать как вероятность. Под ней можно понимать «относительную долю», «концентрацию», «частоту», с которой значение  $x$  встречается среди других значений. Такая интерпретация, сохраняя формальный аппарат и основные выводы теории информации, в то же время значительно расширяет сферу её приложения. В частном случае,  $p(x)$  может рассматриваться и как вероятность, если мы имеем дело со случайной переменной или можем ввести (хотя бы искусственно) какой-то механизм случайного выбора. Например, интуитивно мы чувствуем, что белая точка на черном фоне - весьма информативный объект, потому что относительная площадь точки мала по сравнению с площадью фона.

В постулируемом подходе ещё важен принцип *положительной* обратной связи. Если в технических системах наиболее широко применяется принцип отрицательной обратной связи, предполагающий управление по критерию минимизации нежелательных отклонений или рассогласований между входными и выходными сигналами, то в биологических системах ведущее место занимает принцип положительной обратной связи, основанный на идее желательности отклонений. Взаимная информация  $p(x,y)$  при некоторых условиях может увеличиваться быстрее, чем вероятности  $p(x)$  и  $p(y)$  в отдельности. После преодоления некоторого порога по принципу положительной обратной связи получаем максимум.

В чём состоят основные различия между образом и понятием?

Исходя из вероятностной концепции, основное различие между образом и понятием состоит в том, что понятие есть совокупность объектов и моделируется некоторым равномерным распределением, а образ - холмообразным. Следствием этого различия в распределениях является то, что образ обеспечивает более высокое значение вероятности  $p(x,y)$  по сравнению с понятием, позволяющим преодолевать порог и запоминаться. В многомерном пространстве признаков распределение вероятности для образа выглядит как некий «гиперхолм», для понятия - как «гиперплато». Конечно, это идеальные формы образа и понятия. На практике встречается множество промежуточных форм. Из этого же различия вытекают главные особенности образа по сравнению с понятием: определённость, ассимиляция, кумулятивность, целостность, конкретность образа и абстрактность понятия [2].

*Определённость образа.* Образ отличается от понятия прежде всего значительно большей определённостью своих признаков. Например, если понятие яблока включает в себя яб-

локи красные, жёлтые, зелёные (что делает признак «цвет» неопределённым), то образ яблока может обладать только одним значением этого признака, например, быть красным. То же относится к другим признакам (размер, вкус и пр.) В общем случае это означает, что образу в пространстве признаков соответствует относительно малая окрестность, а характерным распределением вероятностей для него является гиперхолм в  $n$ -мерном пространстве признаков, для понятия – это гиперплато (равномерное распределение). Соответственно «типичному» образу (в нашем примере красному яблоку) соответствует вершина холма (наиболее информативный образ).

Одно из основных формальных различий между образом и понятием состоит в том, что для образа производная  $dp/dy$  отлична от нуля почти всюду, за исключением вершины холма, где производная обращается в нуль. Для понятия производная  $dp/dy$  равна нулю почти всюду, за исключением границ области, где она не определена.

*Ассимиляция.* Эта особенность образа тесно связана с понятием аттрактора: в том смысле, что вершина холма как точка наибольшей информативности притягивает соседние точки (значения признаков), ассимилируя близкие представления. Поэтому типичный образ и способен замещать множество близких образов. Эффект ассимиляции делает образ малочувствительным к небольшим отклонениям своих признаков. Получается своего рода эффект воронки, когда всё, что попадает в ближайшую окрестность образа, как бы наслаивается, т.е. ассимиляция является своеобразным механизмом обобщения при сохранении определённости образа. В отличие от образа у понятия подобных аттракторов нет. Единство понятия обеспечивается не эффектом ассимиляции, а семиотическим путём, с помощью общего знака, который ассоциируется со всеми комбинациями признаков, входящих в понятие, и служит их представителем.

*Кумулятивность.* Важное различие между образом и понятием состоит в том, что повторение образа меняет его распределение вероятностей, делая его более крутым и высоким. Это определяет кумулятивность образа. Для понятия повторение не имеет смысла - равномерное распределение вероятностей не меняет формы, иначе оно перестает быть равномерным. Из этого следует важный факт: в классической логике принятие или непринятие высказывания определяются его истинностью или ложностью раз и навсегда. И повторение здесь ничего не может изменить. Напротив, в образном мышлении многократное повторение какой-то идеи может перевести её из подпорогового состояния в надпороговое и кардинально изменить отношение к ней субъекта - с негативного на позитивное. Это свойство образа играет важную роль в процессах творчества: простое многократное повторение условий задачи может перевести решение из бессознательного на уровень сознания. Как уже отмечалось, в этом же направлении действует эффект положительной обратной связи, лавинообразно переводящий систему в новое состояние.

*Целостность образа* обеспечивается наличием сильных связей между признаками, которые позволяют по нескольким заданным признакам восстанавливать остальные - отсутствующие или искажённые. Если правильно задаётся хотя бы одна из координат вершины гиперхолма  $x$ , то тем самым определяются наиболее вероятные (наиболее информативные) значения и остальных координат -  $y, z$  и т.д. Этим образ отличается от понятия, которое таким свойством не обладает.

Задав значение одного из признаков понятия, определяется лишь сечение гиперплато, т.е. некоторые диапазоны изменений остальных признаков, из которых ни одно не является предпочтительным. Иначе говоря, признаки образа связаны достаточно прочными ассоциациями, тогда как у понятия такие связи между признаками отсутствуют, признаки существуют в значительной степени независимо друг от друга: задав значение одного, мы не получаем автоматически значений других признаков.



*Конкретность образа и абстрактность понятия.* Как следует из предыдущего, образ спонтанно стремится к наибольшей конкретности, это его наиболее устойчивое состояние. Поэтому множество признаков обычно присутствуют в образе одновременно, их невозможно отделить друг от друга. Обычно при попытке намеренно убрать какой-то признак происходит его спонтанное самовосстановление. Напротив, признаки понятия легко отделяются друг от друга, абстрагируются и могут задаваться и рассматриваться по отдельности. Поэтому понятие может устойчиво существовать на любом, сколь угодно высоком уровне абстрактности, тогда как образ не может быть абстрактным: лишённый части своих признаков, он перестаёт быть образом.

## 2 Творческая задача

Для того чтобы выявить различие между образным и понятийным механизмами обработки информации, дадим определение задачи на языке теории множеств и теории вероятностей. Задачей будем называть такое описание объекта, когда заданы значения только некоторых его признаков (условия задачи) и нужно найти (восстановить) значения остальных его признаков (решение задачи).

Пусть в пространстве признаков имеется некоторое множество возможных решений. Каждое условие (предпосылка) в виде предиката, накладывая на него ограничение, задаёт своё подмножество решений. Конъюнкция условий соответствует пересечению этих подмножеств, внутри которых и должно лежать решение. Как работает классическая, чёткая логика? Если предпосылки не противоречат друг другу, то последовательное нанизывание (конъюнкция) приводит к тому, что пересечение множеств сужается, стягивается к единственному выводу (решению), который и появляется на выходе системы. Если какие-то две предпосылки противоречат друг другу, то соответствующие множества не пересекаются, и возникает тупик - множество выводов (решений) оказывается пустым. В частности, если одна из предпосылок является ложной, то она может вступить в противоречие с одной из истинных предпосылок — тогда система заходит в тупик и останавливается. Ещё хуже, если такой противоречащей предпосылки среди истинных не окажется — тогда логическая система доходит до конца и выдаёт ложный вывод.

В нечёткой логике (и при обработке образной информации) положение несколько лучше, поскольку здесь принадлежность (или вероятность принадлежности) к данному множеству в принципе нигде не обращается в нуль, хотя может быть весьма малой величиной [14]. Ложная предпосылка и здесь задаёт ложное множество решений. Но множество это является нечётким и потому не исключает возможности других решений. Конъюнкция с другими, истинными, предпосылками не приводит систему в тупик, множество решений никогда не остаётся пустым. Поэтому возможен выход из «подсознания» в «сознание»: постепенное накопление правильных предпосылок и фактов способно повысить правдоподобие верного вывода (лежащего за пределами ложного множества) настолько, что он, в конце концов, преодолеет ложную предпосылку и появится на выходе системы. Ложная предпосылка создаёт определённый *порог* для правильного вывода, но порог этот в принципе преодолим. Для чёткой же логики порог является абсолютным, бесконечно высоким, и вывод, лежащий за пределами принятой однажды ложной предпосылки, остаётся навсегда недоступным.

Если два каких-то подмножества не пересекаются, то множество решений оказывается пустым и соответствующие условия задачи являются противоречивыми. Это как раз *наиболее интересная ситуация*, поскольку большинство нетривиальных творческих задач (например, изобретательских [15]) как раз и содержат противоречия в своих исходных посылах.

Теперь можно сформулировать определение *творческой задачи* как задачи, условия которой выглядят *противоречивыми и несовместимыми*.

Решение творческой задачи означает разрешение противоречия [1, 2], которое является следствием ограниченности исходного множества представлений субъекта. Для решения задачи необходимо выйти за эти пределы. Сложность ситуации состоит в том, что ограниченность исходного множества представлений обычно не осознаётся субъектом, что является следствием некритически усвоенных представлений, *предрассудков*, общим источником которых служит ограниченность опыта субъекта. На базе постулируемого подхода могут быть определены следующие технологии решения творческих задач [16, 17]:

- наблюдение за процессом решения задач экспертом и выявление предрассудков путём анализа его поведения;
- использование рефлексии;
- моделирование интуиции.

В первом случае возможно автоматизировать процесс решения и попытаться вербализовать знания эксперта, в том числе и ложные, превратить их, например, во множество правил. Представляется, что инструментальной основой для такой технологии могут быть нейросети и, в первую очередь, нейронные сети прямого распространения. Необходимо обучить нейронную сеть на примерах тому, что умеет делать эксперт, построив соответствующую обучающую выборку, а затем проанализировать эту сеть с помощью некоторой программы и извлечь из неё знания в виде правил.

*Рефлексию* будем определять как направленное исследование средств и оснований собственной деятельности с целью поиска ограничений. При таком определении в технологии решения задач, основанной на рефлексии, следует использовать обычные методы инженерии знаний, но только ориентированные на выявление предрассудков, а не истинных знаний. Согласно гипотезе Г.А. Голицина [1], рефлексия является разновидностью положительной обратной связи, обеспечивающей лавинообразное развитие процесса.

*Моделирование интуиции.* С точки зрения технологии интуиция — это такая технология решения творческих задач, которая позволяет преодолевать предрассудки, *не осознавая их*. Реализация технологии решения творческих задач с использованием интуиции возможна на основе обработки образной информации. Преодоление порога под действием новых фактов по сути дела является процессом переучивания системы, изменением рельефа плотности распределения вероятностей в пространстве признаков. Оно возможно только на основе образного мышления благодаря наличию в нём кумулятивного эффекта. Уже такой простой приём как повторение условий задачи ведёт к тому, что вероятность  $p(x,y)$  растёт и рано или поздно преодолевает порог, создаваемый конкурирующими представлениями, в том числе - ложным исходным представлением. Поскольку память человека — система неравновесная (существует как приток, так и отток информации), в процессе решения весьма важную роль играет концентрация признаков и высокий уровень конкретности представления. В процессе решения творческой задачи в поле внимания субъекта постоянно попадают такие внешние объекты, которые обладают некоторыми признаками решения и потому способны влиять на вероятность искомого представления. Оптимально было бы найти объект, адекватный всем условиям задачи, но это исключительный случай. Обычно встречается объект, обладающий не всеми, но многими признаками решения, т.е. достаточно конкретный, чтобы помочь искомому представлению преодолеть порог. Именно такой объект нередко играет роль *подсказки*. Обратим внимание, что подсказка эффективна только тогда, когда проделана достаточно большая предварительная работа по формированию искомого представления и его вероятность, хотя и остаётся подпороговой, но всё же достаточно близка к порогу.



Образ - это всегда представление конкретное. Этим он отличается от понятия. Однако часто образ выступает как «типичный представитель» более широкого класса, т.е. *замещает соответствующее этому классу понятие*. Но образ и понятие совершенно по-разному соотносятся с классом описываемых объектов [18]. Если понятие описывает весь класс, то образ - только один объект этого класса, но объект типичный для этого класса. Такой объект, естественно, обладает только *одним* значением каждого из признаков. Выступая как представитель класса, образ невольно заставляет нас принять его частные особенные свойства за всеобщие, что обуславливает сужение круга рассматриваемых представлений, опасное, когда относится не к решению, а к *условиям* творческой задачи.

Итак, решение творческой задачи требует расширения круга рассматриваемых представлений, в то время как для образного мышления характерно сужение этого круга. Следовательно, видеть условия задачи (включая ложное) в образной форме - значит заведомо ограничивать круг своих представлений с риском потерять то, которое ведет к решению. Так что переход от образа к понятию и изображающему его знаку – процесс вполне закономерный. Образы и образное мышление специалиста играют существенную роль в формировании первичных гипотез оценки той или иной ситуации.

### **3 Механизмы эмоций**

В протекании творческих процессов ключевую роль играют эмоции. Ещё Л.С. Выготский утверждал, что психология творчества опирается, прежде всего, на исследование эмоций [19]. При генерации решений творческих задач исключительное значение приобретает их оценка с помощью некоторого внутрисистемного критика. В качестве такового могут выступать механизмы эмоций [20]. Как при моделировании рассудочного мышления, так и при моделировании образов важнейшей функцией эмоций является определение отношения субъекта (человека, когнитивного агента) к объектам внешней среды с целью удовлетворения потребностей (решения задач) в процессе поведения. Оно может быть положительным или отрицательным. В результате взаимодействия потребность может менять величину и знак. Поэтому отношение к одному и тому же объекту может меняться на прямо противоположное.

Поскольку эмоции являются инструментом квазиоптимального управления поведением, они играют роль обобщённых сил, направляющих субъект к скорейшему достижению максимума его целевой функции, роль которой в излагаемом подходе играет взаимная информация между реакциями субъекта и свойствами его окружения. Эмоции, по существу, можно считать результатом интегральной оценки ситуации не по всем описывающим её параметрам, которых может оказаться слишком много, а лишь по нескольким наиболее важным характеристикам. Соответственно, эмоции могут «запускать» поведение, не обязательно оптимальное в данной плохо изученной ситуации, но такое, которое в наибольшей степени позволит избежать (пусть с большими потерями) катастрофических последствий превышения некоторого важного (например, временного) ресурса. На основании принятого подхода можно ввести алгебру и классификацию эмоций [21, 22].

#### **3.1 Алгебра эмоций**

Алгебра эмоций позволяет вычислять величину и знак сложной эмоции с помощью простых операций над её составляющими. Исходя из некоторых предположений, эта алгебра реализуется в мозгу в аналоговой форме с помощью нейроподобных структур (распределённых вычислительных структур). В сущности, это не что иное как сеть причинных связей.

В общем случае под оценкой будем понимать следующее: если некоторое количество  $dx^i$  обменивается на другое количество  $dx^j$ , то отношение

$$(1) \quad c_{ij} = dx^i/dx^j$$

и есть оценка - относительная ценность единицы  $dx^j$ , выраженная в единицах  $dx^i$ .

Для построения алгебры эмоций (как алгебры оценок) вводятся операции сложения и умножения оценок, умножения оценки на число. Очевидно, что при определении оценки в виде соотношения (1) среди оценок существуют единица и ноль, а это значит, что будут существовать и оценки, обратные друг другу.

Если представить вычислительную структуру в виде сети, то операция сложения (в общем случае — взвешенного) реализуется посредством параллельного соединения её звеньев, когда несколько входных переменных  $x^i$  воздействуют на одну выходную  $x^j$ :  $dx^j = \sum_i c_{ij} dx^i$ .

Операция умножения оценок осуществляется путём последовательного соединения звеньев:  $\hat{\alpha}^k = \hat{\alpha}^k/\hat{\alpha}^i \hat{\alpha}^i = \hat{\alpha}^k/\hat{\alpha}^j \hat{\alpha}^j/\hat{\alpha}^i \hat{\alpha}^i = c_{ki} \hat{\alpha}^i = c_{kj} c_{ji} \hat{\alpha}^j$ . Откуда  $c_{ki} = c_{kj} c_{ji}$ .

В этой работе представляет интерес знак оценок, который будем отражать справа и сверху от оценки, причём, знак произведения определяется по известным правилам алгебры. Тогда  $c_{kj}^- c_{ji}^- = c_{ki}^+$ .

### 3.2 Классификация эмоций

Одной из первых психологических классификаций эмоций была построена и обоснована В.М. Вундтом [23], который определил три пары базовых полярных эмоций: 1) «удовольствие-неудовольствие»; 2) «возбуждение-успокоение»; 3) «напряжение-разряжение». При этом двумя первичными формами он считал удовольствие и неудовольствие (страдание) или удовлетворение и неудовлетворение; удовольствие является следствием и знаком успеха, а страдание — следствием и знаком неуспеха и фрустрации.

Затем К.Э. Изард [24] выделил 10 базовых индивидуальных эмоций, имеющих специфические нервные субстраты и легко выражаемых с помощью мимики. Это эмоции радости, печали, любви, отвращения, интереса, удивления, гнева, презрения, страха, стыда, вины.

В [25] были предложены четыре основных критерия для классификации эмоций как оценок: а) знак эмоции (положительный или отрицательный); б) направленность эмоции (на себя или на других лиц); в) источник происхождения эмоций; г) время возникновения эмоций (предвосхищающие или констатирующие эмоции).

В данном случае, у субъекта  $i$  эмоции характеризуют выполнение собственных потребностей, а у субъекта  $j$  они возникают в этой связи, т.е. обусловлены чужими эмоциями и зависят от отношений между субъектами  $j$  и  $i$ . Таким образом, в результате рефлексии [26] получаем «эмоцию от эмоции». Разделение эмоций предполагает симпатию  $j$  по отношению к  $i$ , а в противном случае налицо антипатия.

Будем использовать попарно критерии (а, б) и (б, в). Пусть  $e_i$  — эмоция, понимаемая как оценка удовлетворения потребности субъекта  $i$ , которая может быть положительной  $e_i^+$  или отрицательной  $e_i^-$ ,  $c_{ji}$  — отношение субъекта  $j$  к субъекту  $i$ ,  $c_{ji}^+$  означает симпатию, а  $c_{ji}^-$  — антипатию, и  $e_{ji}$  — оценка эмоции субъекта  $i$  субъектом  $j$ . Тогда, следуя В.О.Леонтьеву [25], получаем четыре основных случая эмоциональных оценок.

- $e_{ji}^+ = c_{ji}^+ e_i^+$ . Субъект  $i$  испытывает удовольствие, субъект  $j$  относится к субъекту  $i$  положительно, и потому радуется его удовольствию (общая радость или сорадость).
- $e_{ji}^- = c_{ji}^- e_i^+$ . Субъект  $i$  испытывает удовольствие, но субъект  $j$  относится к нему отрицательно и потому испытывает по этому поводу страдание, печаль.
- $e_{ji}^- = c_{ji}^+ e_i^-$ . Субъект  $i$  испытывает страдание, субъект  $j$  относится к субъекту  $i$  положительно, и потому его страдание доставляет ему огорчение (сострадание или сочувствие).

- $e_{ji}^+ = c_{ji}^- e_i^-$ . Субъект  $i$  испытывает страдание, субъект  $j$  относится к субъекту  $i$  отрицательно и потому испытывает радость по этому случаю (злорадство).  
Соответствующее бинарное дерево эмоций изображено на рисунке 1.

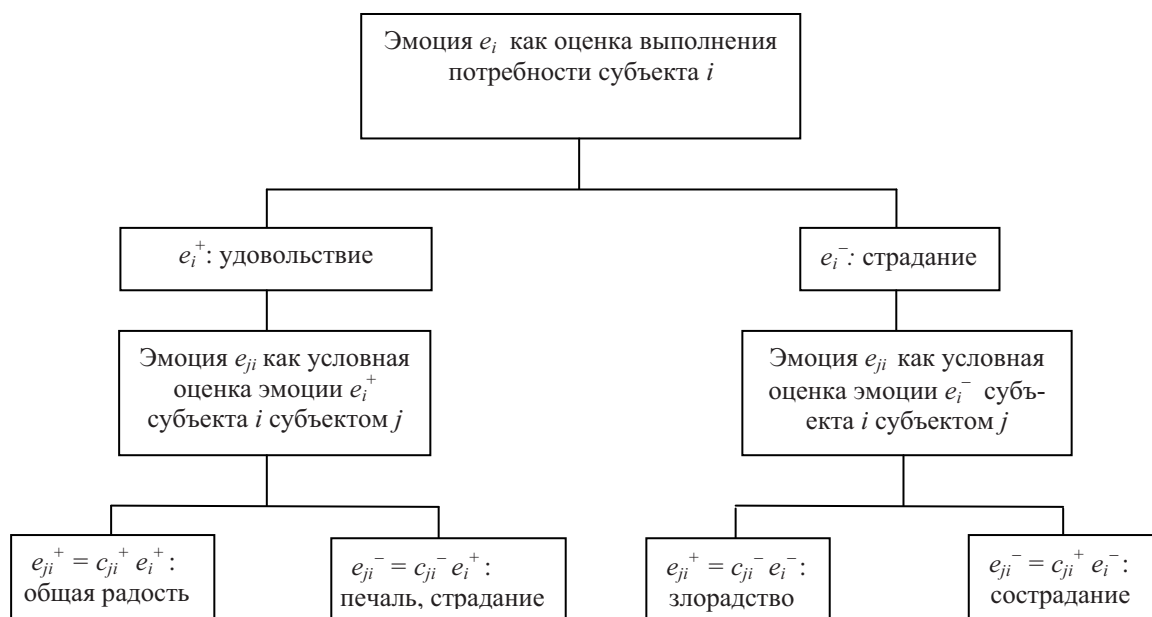


Рисунок 1 - Пример бинарного дерева эмоций

### 3.3 Эмоциональные состояния

Известно, что эмоции различаются на два типа [1]:

- динамические *эмоции* - удовольствие и страдание, связанные с конкретными стимулами и реакциями;
- длительные устойчивые *эмоциональные состояния* («настроения»), являющиеся усреднённым ответом на некоторую стационарную среду - множество более или менее регулярно действующих стимулов.

Если *эмоции* связаны с *динамикой* поведения, с реакцией на отдельные конкретные стимулы, то *эмоциональные состояния* обусловлены главным образом *статистическими* закономерностями, имеют усреднённый и, как следствие, более длительный и устойчивый характер. Примером эмоциональных состояний могут служить «настроения» (радость, печаль, тревога и т.п.).

Определим эмоциональное состояние через соответствие (несоответствие) действий («реакций») субъекта условиям окружения («стимулам»). Согласно принципу максимума взаимной информации, мерой соответствия служит взаимная информация между стимулами и реакциями  $I(X, Y)$ , мерой несоответствия могут служить условные энтропии  $H(X/Y)$  и  $H(Y/X)$ . Первая характеризует некомпенсированное разнообразие стимулов (стимулы, на которые нет адекватных реакций), вторая есть разнообразие невостребованных реакций.

Факторы, от которых зависит эмоциональное состояние, можно условно разделить на внутренние, характеризующие индивида, и внешние, характеризующие среду. К числу внутренних факторов относится уровень активации - степень мобилизации энергетических ресурсов субъекта. В порядке возрастания принято различать следующие уровни активации: сон, дремота; спокойное бодрствование; активное бодрствование; напряжённость (стресс). Поясним два крайних состояния, в которых присутствует предельная мобилизация или предельная демобилизация ресурсов. В норме предельно низким уровнем активации у человека является сон. Предельно высокий уровень активации ведёт к резкому уменьшению разнооб-

разия реакций - иногда вплоть до полного оцепенения (ступор). И ступор, и сон можно рассматривать как функциональные состояния, но лишь в отрицательном смысле - как «непригодность к функционированию». Оба они означают снижение разнообразия реакций человека до уровня, исключающего возможность его функционирования.

Уровень активации (и соответствующее ему разнообразие реакций  $H(Y)$ ) служит основным внутренним фактором, определяющим функциональное состояние. Другой, внешний, фактор – состояние среды, в которой действует субъект и которое может быть охарактеризовано разнообразием стимулов  $H(X)$ . Классификация функциональных состояний определяется соотношением между этими двумя факторами и его динамикой. На этой основе можно выделить [1] следующие типы функциональных состояний.

- $H(X) > H(Y)$  - разнообразие внешних стимулов больше разнообразия реакций. Если причиной этого дисбаланса является увеличение разнообразия внешних стимулов, то это состояние характеризуется как *напряжённость*, стресс. Если же причиной дисбаланса служит уменьшение разнообразия реакций (как правило, следствие дефицита ресурсов), то такое состояние может быть охарактеризовано как *истощение*.
- $H(X) < H(Y)$  - разнообразие стимулов меньше разнообразия реакций. Если этот дисбаланс возникает за счёт уменьшения разнообразия стимулов, то такое состояние принято называть *монотонией* (переживается как скука, вялость): действующие стимулы исчерпали свой информационный потенциал; общий эмоциональный тон этого состояния – отрицательный. Если причиной дисбаланса служит увеличение разнообразия реакций сверх необходимого, то такое состояние оценивается как *беспокойство* (суетливость).
- Важную роль играет также фактор адаптированности субъекта к среде. Возможна такая ситуация, когда само по себе разнообразие реакций, которыми располагает субъект, равно разнообразию стимулов, но при этом реакции не соответствуют стимулам. В результате возникает сложная смесь состояний, в которой присутствуют и напряжённость, и беспокойство, а взаимная информация меньше возможного максимального значения.
- Разнообразие реакций соответствует разнообразию стимулов, и при этом реакции адекватны стимулам. Это нормальное, рабочее состояние - общий положительный эмоциональный тон этого состояния. Взаимная информация в этом состоянии максимальна. Во всех остальных состояниях она меньше максимальной.

Рассмотрим некоторые факторы, ответственные за возникновение этих состояний.

Причиной *напряжённости* является, прежде всего, высокое разнообразие и сложность внешней среды, выражающиеся как большое количество стимулов, большие скорости и широкий диапазон их изменений. Все эти факторы могут быть охарактеризованы общим показателем -  $H(X)$ . Сюда следует отнести и такой фактор, как неожиданность: всякий необычный стимул увеличивает  $H(X)$  и может стать причиной напряжённости.

С другой стороны, источником напряжённости может стать всё, что ограничивает разнообразие реакций субъекта  $H(Y)$ , например, большие физические нагрузки, дефицит энергии, времени и других ресурсов. Ещё одним источником напряжённости может служить неподготовленность субъекта к данной деятельности.

*Монотония* является своего рода антиподом напряжённости. Если напряжённость порождается слишком большим разнообразием стимулов, то монотония, наоборот, слишком малым их разнообразием. В этом случае существует большое множество «невысокоинформационных» реакций, лежащее за пределами множества стимулов  $X$ . В этом случае субъекту выгодно сокращать разнообразие реакций.

Итак, рассматривая полученные выводы применительно к функционированию гибридной интеллектуальной системы, можно утверждать, что если все предпосылки правильны, то предпочтительно использование понятийного мышления и чёткой логики. Однако наличие

Не-факторов, стресса, ведущего к потере части информации, способствуют возникновению у когнитивной системы ложных представлений о ситуации. В идеале именно гибридная когнитивная система могла бы выдавать в этом случае наиболее объективные и взвешенные рекомендации. Однако если такая система будет работать на основе чёткой логики, то введя в неё ложное представление, например, о характере неисправности или аварии в качестве одной из предпосылок, мы либо загоним её в тупик, либо получим ложные выводы. И здесь может оказаться полезным обращение к образному уровню системы, работающему на основе нечёткой логики.

## Заключение

В работе подведены некоторые итоги развития и отражения образного мышления и интуиции специалиста в системах ИИ. Рассмотрены вопросы инженерии образов и решения творческих задач. Особое внимание уделено роли интуиции и эмоций в творчестве. Сформулированы информационные (энтропийные) модели эмоций, объясняющие их основные свойства и функции. Развита алгебра эмоций, позволяющая вычислять величину и знак сложной эмоции с помощью простых операций над её составляющими. Разработан вариант классификации эмоций, позволивший построить дерево эмоций на основании рефлексивных оценок.

В качестве перспективных направлений исследований можно указать следующие.

- Исследование свойств и характеристик образного мышления на основе анализа процессов правостороннего, детского (наивного), визуального и продуктивного мышления.
- Выделение и анализ операций и процедур образного мышления и интуиции.
- Разработка принципов построения языка образного мышления.
- Компьютерная имитация важнейших характеристик образного мышления, опирающаяся на определение основных процедур и операций с образами различных модальностей.
- Построение новых архитектур гибридных интеллектуальных систем, основанных на совместном моделировании рассудочного и образного мышления.
- Разработка теоретических оснований исчисления образов, в том числе разработка логики перцептивных образов, принципиально отличной от логики формирования понятий, в силу хотя бы двух кардинальных различий между образами и понятиями: целостности восприятия и существования эталонных образов [3].
- Разработка теоретических оснований исчисления эмоций.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 15-07-02320, 16-07-00222).

## Список источников

- [1] *Golitsyn, G.* Information and Creation / G. Golitsyn, V. Petrov. - Basel: Birkhauser Verlag, 1995. – 188 p. DOI: 10.1007/978-3-0348-7472-4.
- [2] *Голицын, Г.А.* Нейронные сети и экспертные системы: перспективы интеграции / Г.А. Голицын, И.Б. Фоминых // Новости искусственного интеллекта. - №4, 1996. - С.121-145.
- [3] *Поспелов, Д.А.* Метафора, образ и символ в познании мира / Д.А. Поспелов // Новости искусственного интеллекта. - №1, 1998. - С.94-136.
- [4] *Поспелов, Д.А.* Как совместить левое и правое? / Д.А. Поспелов, Л.В. Литвинцева // Новости искусственного интеллекта. 1996. №2. - С.66-71.
- [5] *Кузнецов, О.П.* Быстрые процессы мозга и обработка образов / О.П. Кузнецов // Новости искусственного интеллекта. 1998. №2. – С.117-130.



- [6] **Валькман, Ю.Р.** О языке образного мышления / Ю.Р. Валькман, Л.Р. Исмагилова // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды международного семинара (Диалог'2004, Тверь). – Тверь, 2004. – С.131-142.
- [7] **Валькман, Ю.Р.** Образы и образное мышление: некоторые отношения и структуры / Ю.Р. Валькман // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов V-й международной научно-практической конференции (ИММВ-2009, Коломна, 28-30 мая 2009г.). – М.: Физматлит, 2009. – С.109-120.
- [8] **Валькман, Ю.Р.** Структура образа: доформальное исследование / Ю.Р. Валькман // Труды XII-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010, Тверь, 20-24 сентября 2010 г.). – М.: Физматлит, 2010. Т.1. – С.344-352.
- [9] **Тарасов, В.Б.** Моделирование психических образов: как совместить дискретное и непрерывное? / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. 1998. №3. – С.86-100.
- [10] **Тарасов, В.Б.** Грануляция информации: основа когнитивных процессов и предпосылка создания интеллектуальных систем новых поколений / М.Н. Вайнцвайг, Е.Е. Витяев, В.Г. Редько, В.Б. Тарасов и др. // Подходы к моделированию мышления. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – С.219-261.
- [11] **Кобринский, Б.А.** Образные ряды и их отображение в базе знаний / Б.А. Кобринский // Труды XI-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2008, Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г.). – М.: ЛЕНАНД, 2008. Т.1. – С.393-400.
- [12] **Шеннон, К.** Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – 829 с.
- [13] **Колмогоров, А.Н.** Три подхода к определению “количества информации”. – В кн.: Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
- [14] **Прикладные нечёткие системы** / Ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 282 с.
- [15] **Альпиуллер, Г.С.** Найти идею. Введение в ТРИЗ - теорию решения изобретательских задач - М.: Альпина Паблишер, 2008. – 410 с.
- [16] **Голицын, Г.А.** О моделировании интуиции на ЭВМ / Г.А. Голицын, И.Б. Фоминых // Динамические интеллектуальные системы в управлении и моделировании. Материалы семинара. – М.: РДНТП, 1996. – С.81-84.
- [17] **Фоминых, И.Б.** О технологии решения творческих задач / И.Б. Фоминых // В сборнике трудов 8 Национальной конференции по искусственному интеллекту, 2002, т.1, М.: Изд.физ.-мат.литературы, 2002. – С.126-134.
- [18] **Голицын, Г.А.** Информация – Логика – Поэзия / Г.А. Голицын // Число и мысль. – М., Знание, 1984. – Вып.7. – 160 с.
- [19] **Выготский, Л.С.** Психология искусства. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1998. – 480 с.
- [20] **Анохин, П.К.** Эмоции // Большая медицинская энциклопедия, т.35. – М.: Медгиз, 1964. – С.354-357.
- [21] **Фоминых, И.Б.** Эмоции как аппарат оценок поведения интеллектуальных систем / И.Б. Фоминых // В сб. трудов 10 Национальной конференции по искусственному интеллекту - М.: Изд.физ.-мат.лит., т.2, 2006. – С.687- 694.
- [22] **Фоминых, И.Б.** Классификация эмоций: информационный подход / И.Б. Фоминых, В.В. Алексеев // В сб. научных трудов IV Международного научно-практического семинара «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» - М.: Наука, 2007. – С.63-71.
- [23] **Вундт, В.** Введение в психологию: Пер. с нем. 3-е изд. М.: КомКнига, 2007. – 168 с.
- [24] **Изард, К.Э.** Психология эмоций: Пер. с англ. – СПб.: Изд-во Питер, 1999. – 464 с.
- [25] **Леонтьев, В.О.** Классификация эмоций. Одесса: Изд-во ИИЦ, 2003.
- [26] **Лефевр, В.А.** Рефлексия. М.: Когито-Центр, 2003. – 496 с.



## MENTAL IMAGE ENGINEERING, CREATIVE PROBLEMS, EMOTIONAL EVALUATIONS

**I.B. Fominykh**

National Research University "MPEI", Moscow, Russia  
igborfomin@mail.ru

### Abstract

This paper describes some results in the development and reflection of creative thinking and intuition of a specialist in the field of artificial intelligence systems. Problems of image engineering, including the elicitation of main differences between image and concept; in particular, between image-based and concept-based mechanisms of information processing (problem solving) are considered. The leading role of neural networks and fuzzy models in the computer implementation of creative thinking is shown. The nature of creative tasks, characterized by the identification and resolution of contradictions in the conditions of the tasks being solved, is considered. A special attention is paid to the role of intuition and emotions in solving creative problems. Such important functions of emotions as instrument of behavior control, tools of activating creative resources and evaluation mechanism (an intra-systemic critic) are revealed. The algebra of emotions is introduced that allows us to calculate the sign and magnitude of a complex emotion by using simple operations over its components. A binary tree of emotions is built on the basis of reflexive estimates. The novelty of the paper is related to the algebra of emotions, entropic models of emotional states characteristics and the construction of emotion tree viewed as a way of specifying secondary human emotions by evaluating the performance of other people.

**Key words:** *image engineering, creative task, contradiction, intuition, reflection, solution search, emotion algebra, emotional states, emotion tree.*

**Citation:** *Fominykh IB. Mental image engineering, creative problems, emotional evaluations [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(2): 175-189. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-175-189.*

### Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 15-07-02320, 16-07-00222).

### References

- [1] **Golitsyn G, Petrov V.** Information and Creation. - Basel: Birkhauser Verlag, 1995. - 188 p. DOI: 10.1007/978-3-0348-7472-4.
- [2] **Golitsyn GA, Fominykh IB.** Neural networks and expert systems: integration prospects [In Russian]. Artificial Intelligence News of the artificial intelligence. 1996; 4: 121-145.
- [3] **Pospelov DA.** Metaphor, image and symbol in the knowledge of the world [In Russian]. Artificial Intelligence News, - M., AAI, 1998; 1: 115-136.
- [4] **Pospelov DA, Litvintseva LV.** How to combine left and right? [In Russian]. News of artificial intelligence. 1996; 2: 66-71.
- [5] **Kuznetsov OP.** Fast brain processes and image processing [In Russian]. News of Artificial Intelligence. 1998; 2: 117-130.
- [6] **Valkman YuR, Ismagilova LR.** On the language of figurative thinking [In Russian]. Computational linguistics and intellectual technologies. Proceedings of the international seminar (Dialogue'2004, Tver). - Tver, 2004. - P.131-142.
- [7] **Valkman YuR.** Images and figurative thinking: some relationships and structures [In Russian]. Integrated models and soft calculations in artificial intelligence. Collection of works of the V-th International Scientific and Practical Conference (IMMV-2009, Kolomna, May 28-30, 2009). - Moscow: Fizmatlit, 2009. - P.109-120.
- [8] **Valckman YuR.** Image structure: pre-formal research [In Russian]. Proceedings of the XIIth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation (KII-2010, Tver, September 20-24, 2010). - Moscow: Fizmatlit, 2010. V.1. - P.344-352.
- [9] **Tarassov VB.** Modeling of mental images: how to combine discrete and continuous? [In Russian]. News of artificial intelligence. 1998; 3: 86-100.

- [10] *Tarassov VB, Vaintsvayg MN, Vityaev EE, Redko VG. and others.* Granulation of information: the basis of cognitive processes and the prerequisite for the creation of intellectual systems of new generations [In Russian]. Approaches to the modeling of thinking. - Moscow: LENAND, 2014. - P.219-261.
- [11] *Kobrin BA.* Figurative series and their representation in the knowledge base [In Russian]. Proceedings of the 11th National Conference on Artificial Intelligence with International Participation (KII-2008, Dubna, September 28 - October 3, 2008). - Moscow: LENAND, 2008. V.1. - P.393-400.
- [12] *Shannon K.* Works on the theory of information and cybernetics [In Russian]. - M.: IL, 1963, - 829 p.
- [13] *Kolmogorov AN.* Three approaches to the definition of "amount of information". In: Kolmogorov A.N. Theory of Information and the Theory of Algorithms [In Russian]. - M.: Nauka, 1987. - 304 p.
- [14] *Applied fuzzy systems* / Ed. T. Tarano, K. Asai, M. Sugeno. 1989 Elsevier Ltd. - 314 p. DOI: 10.1016/C2013-0-11592-9
- [15] *Altshuller GS.* Find an idea. Introduction to TRIZ - the theory of solving inventive problems [In Russian]. - M.: Alpina Publisher, 2008. - 410 p.
- [16] *Golitsyn GA, Fominykh IB.* On the modeling of intuition on a computer [In Russian]. Dynamic intelligent systems in control and modeling. Materials of the seminar. - M.: RHNT, 1996. - P.81-84.
- [17] *Fominykh I.* On the technology of solving creative problems [In Russian]. In the collection of proceedings of the 8th National Conference on Artificial Intelligence - M.: Izd.fiz.-mat.literatury, v.1, 2002. - P.126-134.
- [18] *Golitsyn GA.* Information - Logic - Poetry // Number and thought [In Russian]. - M., Knowledge, 1984. - Issue 7. - 160 p.
- [19] *Vygotsky LS.* Psychology of art [In Russian]. - Rostov-on-Don: Phoenix, 1998. - 480 p.
- [20] *Anokhin PK.* Emotions [In Russian]. The Great Medical Encyclopedia, Vol.35. - M.: Medgiz, 1964. - P.339-341, 354-357.
- [21] *Fominykh I.* Emotions as an apparatus for assessing the behavior of intellectual systems [In Russian]. In the collection of proceedings of the 10th National Conference on Artificial Intelligence - M.: Izd.fiz.-mat.literatury, v.2, 2006. - P.687-694.
- [22] *Fominykh I, Alekseev V.* Classification of emotions: the information approach [In Russian]. In Sat. Scientific Works of the IV International Scientific and Practical Seminar "Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence" - M.: Science, Izd., Phys.-Math. Literature, 2007. - P. 63-71.
- [23] *Wundt W.* An introduction to psychology. MacMillan Co. 1912. - 186 p. - DOI: 10.1037/13784-000.
- [24] *Izard CE.* Human Emotions. Springer-Verlag US. 1977. - 495 p. - DOI: 10.1007/978-1-4899-2209-0.
- [25] *Leontyev VO.* Classification of emotions [In Russian]. Odessa: Publishing House of the Information Center, 2003.
- [26] *Lefebvre VA.* Reflection [In Russian]. Moscow: Kogito-Center, 2003. - 496 p.

## Сведения об авторе



**Фоминых Игорь Борисович**, 1940 г. рождения. Окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана (1963), МГУ им. М.В. Ломоносова (1969), д.т.н. (2000), профессор (2004). Профессор кафедры прикладной математики Национального исследовательского университета «МЭИ». Член Научного совета Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 120 работ в области искусственного интеллекта.

**Igor Borisovich Fominykh** (b. 1940) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 1963, the Lomonosov Moscow State University in 1969, D. Sc. Eng. (2000), professor (2004). He is Professor at National Research University "MPEI" (Department of Applied Mathematics), the member of Scientific Council of the Russian Association for Artificial Intelligence. He is also the author and co-author of more than 120 publications in the field of Artificial Intelligence.

УДК 167/168

## **УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЗАКОН ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ КОНТРАРНЫХ И КОНТРАДИКТОРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ**

**В.В. Попков**

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

### **Аннотация**

На основе концепции конструктивизма рассмотрены особенности человеческого мышления при построении логических категорий и его способность к конструированию реальности, которая конституирует себя в виде сети взаимосвязанных логических категорий, принадлежащих к контрарному или контрадикторному типу. Рассмотрение отношений между грамматическими и логическими формами приводит к пониманию, что последние могут проявлять себя в качестве комбинаторно-топологических структур, которые хорошо моделируются с помощью мультиграмм (форм) древней китайской символики Книги Перемен (И-Цзин). Использование указанной символики позволяет выразительными средствами гексаграмм выявить связи между структурами, скрытыми в аналитической записи. Последовательное применение операций контрарного и контрадикторного типа позволило выявить четыре типа инвариантных преобразований, являющихся комбинациями контрарных и контрадикторных отношений в модельном пространстве с основанием из двух противоположных элементов, что указывает на новую, ранее скрытую онтологию реальности. В этой онтологии инварианты представлены не объектами, а процессами перехода между различными состояниями, соединяющими контрарные характеристики с контрадикторными. Перечислены примеры из различных отраслей знания, иллюстрирующие фундаментальную роль четвероякого основания, показано действие универсального закона при конструировании моделей экономических структур.

**Ключевые слова:** *конструктивизм, контрарность, контрадикторность, гексаграмма, онтология, топология, инвариантность, логическая категория, структура.*

**Цитирование:** *Попков, В.В. Универсальный закон инвариантных преобразований в пространстве контрарных и контрадикторных логических форм / В.В. Попков // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(27). – С.190-207. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-190-207.*

### **Введение**

Окружающий нас мир - это целостность, то есть такое целое, в котором всё связывается со всем по сообразным природе законам. Конечно, он существует и не зависит от какой бы то ни было умственной работы человека. Природа даже существовала бы и была такой, какова она есть, и в том случае, если бы человека вовсе не было; но для нас - людей - она возникает. Перед взором человеческого духа она последовательно строится, и не сама собою, а деятельностью этого духа. Любой фактор среды может быть воспринят, оценен, «познан» не таковым, каков он есть, а исключительно по степени и направленности своего воздействия на живой организм; то, что приводит к возбуждению органов чувств, не содержит в себе предустановленных ответных эффектов [1]. Значения сигналов конструируются исключительно мозгом. Знание не обретается пассивным образом, оно активно конструируется познающим субъектом. Эти краткие тезисы составляют базис современного конструктивизма – относительно нового направления, оформившегося с 80-х годов XX века в эпистемологии и сформированного окончательно в междисциплинарном пространстве современного естество-

знания и гуманитарных наук. Функция познания в конструктивизме носит адаптивный характер и служит для организации фактов опытного мира и мыслительных конструкций, а не для открытия онтологической реальности<sup>1</sup>. Истинным является то знание, которое поддерживает жизнеспособность системы, обеспечивает её выживание. Например, в целях своей жизнеспособности политики искусно генерируют сигналы для населения, а многие люди принимают их за истину. Эта возможность замены понятия «истинности» понятием «жизнеспособности» является принципиальной и сильно влияет на установки познающего субъекта. Таким образом, любая действительность является самым непосредственным образом *конструкцией ментальной деятельности* человека, который, как он *полагает*, эту действительность открывает и исследует.

Эта общая идея ранее нашла своё воплощение в оригинальной философии и логике исчисления индикаций Дж. Спенсера–Брауна [2], который утверждает, что любая Вселенная начинается с разграничения. Разграничение требует индикации (метки) для одного из двух состояний, возникших в результате разграничения. Меткой может быть имя (например, стол, но в общем случае – абстрактное понятие), действие (скажем, читать, писать) и мотив (стремление к действию – хочу, должен и пр.). Человеческий язык постоянно утверждает, что вещи вне нас имеют какие-то качества и признаки. Имена вещей приходят к нам в раннем возрасте, когда мы учимся говорить, и это происходит настолько естественно, что мы даже не подозреваем, что здесь может таиться какая-то ловушка. О чём бы мы ни узнавали, – всё имеет свое имя. Любая вещь из действительности проецируется на экран сознания только со своим именем. Человек не использует специальных маркеров или символов для обозначения существования. Всё, что появляется на экране сознания благодаря своему имени, является для наблюдателя тем, что существует (в воображении или в действительности). В общепринятом восприятии для обозначения существования мы не можем использовать ничто, пустоту – реальное пространство никак не заполняет табло сознания, как это делает действительность. Нечто, могущее существовать, но не имеющее метки, сознанием игнорируется, его для сознания не существует. Когда обычный наблюдатель видит стол, он должен совершить работу по обозначению стола на своём внутреннем экране сознания, – у него, видящего конкретный стол, возникает некий смутный образ абстрактного стола, обязательно в сопровождении имени, иначе этот образ невозможно использовать для размышлений, коммуникаций и передачи знаний. Когда наблюдатель пожелает предположить, что то, что существует, не существует, он просто не делает пометку. Таким образом, наблюдатель использует пометку (имя) для индикации, что он подтверждает существование чего-либо, и не использует ничего для обозначения того, что он это не подтверждает. Конечно, при этом он не задумывается над тем, что он учитывает в качестве *подтверждения существования* – всего лишь его знак, но дальше действует так, как если бы он учитывал *существование*. При этом *знак существования и факт реального существования могут различаться*.

Любая индикация подразумевает двойственность, так как мы можем воспроизвести в сознании вещь, только создав сразу же то, чем она не является<sup>2</sup>. Выделяя стол в своём сознании, мы автоматически, не замечая этого, соглашаемся с тем, что всё остальное – это не стол, даже не присваивая этому остальному специального имени. Любая двойственность подразумевает также тройственность: то, что есть – вещь, то, чем она не является, и граница между ними. Выделенную вещь<sup>3</sup> (контент), её окружение (контекст) и границу между ними

<sup>1</sup> Онтологическая реальность в данном контексте означает картину мира, которая, якобы, существует сама по себе и требует открытия.

<sup>2</sup> Дж.Спенсер-Браун в своей работе использует глаголы *produce* и *coproduce*, подчёркивая неразрывную связь двух сторон конструирования реальности.

<sup>3</sup> В английском языке слово «thing» означает не только «вещь», но и «нечто определённое». Именно в последнем смысле (нечто определённое) в описании формы используется слово «вещь».

Дж.Спенсер–Браун назвал формой. «Ты можешь провести границу где угодно, - утверждал он, - но где-то ты всё же должен её провести. Стоит однажды сделать это, и ты становишься на путь, на котором другие возможности для выбора навсегда закрываются». Возможности последующего выбора и других определяются предыдущими. Вернуться назад уже нельзя, так как время закрывает возможности выбора, которыми не воспользовались. Так возникает зависимость от пройденного пути. Таким именно образом аргументы, используемые для доказательства правильности наших теорий об устройстве Вселенной, сами подтверждаются доводами, которые зависят от этих аргументов, поскольку мы их выбрали ранее. Приходя в этот мир и усваивая часть знаний, созданных предыдущими поколениями, мы начинаем очень далеко от центра и не можем увидеть связности того мира, в котором оказались, и не осознаём, что наши решения появились в результате сети ранее принятых решений. Мы не видим следующее: то, что получается в результате, зависит от того, что было заложено изначально и, в значительной мере, не нами [2].

## **1 Грамматические и логические формы и их представление в символике Инь и Ян**

Для познания мира мы располагаем органами чувств и разумом. Наши ощущения с помощью разума преобразуются в *понятия*, используя которые мы с помощью логики, оперирующей с понятиями, записанными с помощью знаков используемого нами языка, производим суждения и умозаключения, из которых извлекаем смыслы, - или то, что мы привыкли называть знанием. Понятия, суждения и умозаключения - это логические конструкции, составленные из категорий, без которых мышление и коммуникации невозможны. Соглашаясь с распространённым мнением о том, что человек мыслит с помощью категорий, мы обнаружим два вида мышления. Первый, который мы назовём грамматическим, предполагает, что человек мыслит с помощью грамматических категорий. Второй, который мы назовём логическим, предполагает, что человек мыслит с помощью логических категорий. Какой же из этих двух видов мышления является мышлением в собственном смысле слова? – так поставил вопрос П. Кузнецов [3]. Отвечая на него, он опирался на мнение О. Есперсена [4]: «...приходится признать, что наряду с синтаксическими категориями или кроме них, или за этими категориями, зависящими от структуры каждого языка, в том виде, в каком он существует, имеются ещё внеязыковые категории, не зависящие от более или менее случайных фактов существующих языков. Эти категории являются универсальными, поскольку они применимы ко всем языкам, хотя они редко выражаются в этих языках ясным и недвусмысленным образом».

Выделить логические категории, стоящие за грамматическими предложениями, оказывается непросто, так как со времен Канта принято говорить не о категориях, а о категориальных парах, таких, к примеру, как материальное–идеальное, причина–следствие, форма–содержание, сущность–явление. П. Кузнецов называет такие категориальные пары логическими формами и первой, наиболее простой, предлагает считать диаду, примерами которой, используя логику Г. Гегеля, являются пары, возникающие в суждении из различных сторон понятий: единичное–всеобщее, единичное–особенное, особенное–всеобщее. Таким образом, ограничивая своё рассмотрение диады рафинированными гегелевскими понятиями, П. Кузнецов вынужден на следующем этапе построения логических форм - при переходе к триаде, - считать триадой форму, включающую в себя различные стороны умозаключения, то есть единичное–особенное–всеобщее.

П. Кузнецов делает важный нетривиальный вывод: «...мы имеем бесконечную последовательность логических форм, первые три из которых уже освоены со времен Гегеля».





Но уже при переходе к тетраде он вынужден ограничиться выводом: «...мы имеем простейшую, но ранее неизвестную форму, которая ныне известна математике, как топологическая структура. Это связанное целое из двух диад». На наш взгляд, этими «четверичными петлями» из двух диад (одна из которых обращена по отношению к другой) пронизана вся диалектика Г. Гегеля. Невозможность выявить ясное и понятное соответствие между логическими формами Г. Гегеля и П. Кузнецова есть следствие ограниченности исходного логического базиса в виде трёх простейших категорий Г. Гегеля (см. таблицу 1, где знак вопроса означает неопределённость в установлении соответствия).

Таблица 1 – Логические формы Г. Гегеля и их соответствие логическим формам П. Кузнецова

Логические формы Гегеля	Предлагаемые логические формы Кузнецова
Понятие	Унада
Суждение	Диада
Умозаключение	Триада
Логическая петля из двух диад	Тетрада
?	Пентада
?	Гексада

Возникает вопрос: существует ли иной логический базис для реализации идеи создания логических форм в виде топологических структур и как можно его использовать? Ответ на этот вопрос положителен – такой базис существует – это мультиграммы (диграммы, триграммы и гексаграммы) китайской Книги Перемен (И-Цзин).

Обычно И-Цзин связывают с гадательной практикой и, по мнению некоторых китайских учёных, именно поэтому философия И-Цзин выходит за пределы диапазона науки [5]. Ч. Цзунхуа отмечает, что в философии Инь и Ян есть три основных аспекта: Сян – символ, который изучает различные комбинации символов Ян (  ) и Инь (  ); Ли – философия и гадательная практика; Шу – числа, изучает вероятности будущих событий. Наше внимание будет сосредоточено на аспекте Сян - на выявлении связи символов Инь и Ян и их комбинаций с логическими операциями, характерными для европейской рациональной науки.

В философии И-Цзин подчёркивается, что символы Инь и Ян представляют собой начальное целостное состояние Тайцзи, которое естественно в терминах П. Кузнецова трактовать как унаду. То, что унада представлена двумя символами, выглядит вполне обоснованным, так как выделение чего-либо немедленно порождает двойственное состояние. Поставив метку, то есть выделив контент, мы не определяем контекст, он остаётся подвижным и текущим до тех пор, пока мы не делаем следующего шага, - проводим новую границу, но всё равно вне контента остаётся ещё множество возможностей, т.е. и в европейском *рацио* (по меньшей мере в трактовке философии Дж.Спенсера–Брауна) есть аналог Ян – это контент, и Инь – контекст. Соответственно, диада тоже приобретает более сложное строение и состоит не из трёх пар (единичное–всеобщее, единичное–особенное, особенное–всеобщее), а из четырёх (см. рисунок 1).

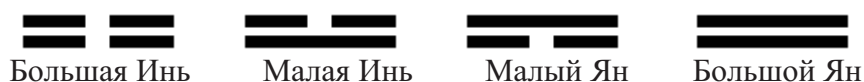


Рисунок 1 - Четыре диграммы, являющихся комбинацией двух черт Инь и Ян

Движение от единичного (Большая Инь) к другому полюсу – всеобщему (Большой Ян) (Большие Ян и Инь вместе называют Тай) проходит через два промежуточных (особенных состояния): Малая Инь и Малый Ян (в литературе по И-Цзин их называют Шао).





Основной символической единицей в И-Цзин является триграмма. Максимальное число триграмм, формирующихся при помощи различных комбинаций трёх черт, сплошных (  ) или прерывистых (  ), – восемь ( $2^3 = 8$ , см. рисунок 2).



Рисунок 2 - Восемь триграмм, являющихся комбинациями трёх черт Инь и Ян

Эти черты (Ян и Инь), триграммы и гексаграммы, согласно китайской философии, символизируют силы действия, перемены и все явления во Вселенной. Триграммы являются иллюстрацией триады, предложенной П. Кузнецовым, но гораздо более сложной структуры, чем это представляется в логической форме триады. Тетраде, пентаде и гексаде соответственно можно сопоставить в символике И-Цзин шестнадцать тетраграмм ( $2^4=16$ ), тридцать две пентаграммы ( $2^5=32$ ) и шестьдесят четыре гексаграммы ( $2^6=64$ ). Толковательная практика начинается с триграмм, которая получает своё развитие в 64 гексаграммах, представляющих собой сочетания из триграмм, соединённых попарно. Триграммы в толковательной практике, также как и в рациональной европейской логике, представлены тремя членами. Первая, нижняя черта триграммы, представляет землю, средняя черта – человека, верхняя черта – небо. Когда мы переходим к гексаграммам (в которых шесть черт), то также две нижних черты представляют землю, две средних – человека и две верхних – небо. Надо отдать должное древним китайским мудрецам в их проникательности и глубине в приписывании смыслов триграммам и гексаграммам. В самом деле, небо, понимаемое как необъятный космос – это всеобщее, земля – планета в этом космосе – единичное, а человек, вне всякого сомнения, – это особенное.

Н. Талеб в своей книге «Антихрупкость» [6] рассматривает центральную проблему, поднятую Ф. Ницше в «Рождении трагедии» [7]. Вслед за Ф. Ницше он видит две силы – аполлоническую и дионисическую<sup>4</sup>. Первая измерима, уравновешена, рациональна, представляет разум и самоограничение; вторая темна, неприручаема, трудна для понимания и исходит из глубинных слоёв нашего сознания. Н. Талеб утверждает, что дионисическое начало может стать источником стохастического прилаживания к аполлоническому началу, которое отвечает за рациональность в процессе отбора.

Логические формы при попытке вывести их за пределы простейших двух-, трёхчленных гегелевских суждений либо не поддаются описанию, понятному для их усвоения и использования, либо требуют обращения к более сложным моделям, которые требуют приписывания смыслов, недостаточно доказательных из-за своей многозначности. П. Кузнецов, как и многие другие исследователи, при попытке выделить логические формы, не зависящие от грамматических, старался выделить аполлоническое (логическое) начало в потоке свободно льющихся и переплетающихся грамматических форм, отображающих в сознании дионисическое начало. Продолжая исследование символики И-Цзин в русле рациональной традиции, можно попытаться отыскать её свойства, проливающие свет на данную проблему.

<sup>4</sup>Аполлón (др.- греч. «лучезарный», «сияющий») — в древнегреческой мифологии бог света. Ди́онис — в древнегреческой мифологии младший из олимпийцев, бог вина, производительных сил природы, вдохновения и религиозного экстаза.

## 2 Контрарные и противоречивые отношения и их логики

А. Кобзев в предисловии к изданию «Книги Перемен» [8] отмечает две фундаментальные операции в пространстве гексаграмм. Первая из них – поворот гексаграммы на  $180^\circ$  (операция обращения), вторая – замена черт на противоположные, то есть сплошных на прерывистые и наоборот (операция «супротивности»). «Эти два вида противопоставления в традиционной китайской методологии охватывают все контрарные и противоречивые отношения, то есть и противоположность, и противоречие». Это важное замечание, хотя интуитивно оно вполне понятно, - ведь речь идёт о двух символах (Инь и Ян), связанных отношениями противоположности и взаимопереходов. Но этой интуитивной ясности явно недостаточно, чтобы в полной мере уяснить важность противоречивых и контрарных операций в модельном пространстве мультиграмм. Этот пробел будет заполнен в последующем изложении.

*Противоречивые* отношения (лат. *contradictories* - противоречащий) вместе не могут быть ни истинными, ни ложными, из двух противоречивых суждений одно - истинно, другое - ложно. Утвердительное суждение также является противоречивым или противоположным отрицательному, когда субъект является одним и тем же, но одно суждение является универсальным, а другое - нет. Например, суждение «все лебеди белые» является противоречивым утверждению «некоторые лебеди не являются белыми». Суждение «ни один лебедь не является чёрным» противоречиво суждению «некоторые лебеди являются чёрными». Между противоречивыми противоположностями не существует промежуточных звеньев, относительно любого субъекта или предиката можно или утверждать, или отрицать. Однако, нельзя одновременно утверждать и отрицать об одном и том же субъекте, взятом в одно и то же время, в одном и том же отношении: первое положение является законом исключённого третьего, а последнее - законом противоречия.

*Контрарные* отношения (лат. *contrarius* - противоположный) существуют между суждениями, которые не могут быть вместе истинными (если одно истинно, то другое ложно), но оба вместе могут быть ложными. Суждения являются контрарно противоположными, когда и утверждение, и отрицание являются универсальными. Например, контрарными утверждениями являются следующие: «все лебеди белые» и «все лебеди чёрные». Оба вместе они ложные, но по отдельности одно из них может быть истинным, тогда другое ложным. Например, в каком-то месте собрались только белые лебеди. Тогда суждение «все лебеди белые» для этого конкретного места будет истинным, а контрарное ему суждение «все лебеди чёрные» - ложным. Это связано с тем, что контрарно противоположные суждения в отличие от противоречивых допускают существование промежуточных звеньев, определяемых широким списком признаков [9]:

Например, движение представляет собой переход одной контрарной противоположности в другую; точки изменения положения являются контрарными противоположностями. Другой пример: отражение человека в зеркале контрарно облику человеку, который смотрит в зеркало. Из определения контрарных отношений и приведённых примеров можно видеть, что контрарные отношения представляются более сложными, нежели противоречивые. Это обусловлено наличием промежуточных звеньев, существование которых зависит от места, времени, рода, носителя свойств и других условий.

Г. Гегель утверждал [10], что «...в основании контрарных и противоречивых понятий ... лежит рефлексивное определение разности и противоположения. Они рассматриваются как два отдельных вида, т.е. каждое как неподвижно существующее само по себе и безразличное к другому, рассматривается без всякой мысли о диалектике и внутренней ничтожности этих различий; как будто то, что контрарно, не должно быть определено точно так же и как противоречивое». Г. Гегель делает важное заключение о неразрывности контрарных и противоречивых отношений: «В понятии тождество развито во всеобщность, различие - в

особенность, противоположение, возвращающееся в основание, - в единичность... Всеобщее оказалось не только тождественным, но в то же время и разным или контрарным по отношению к особенному и единичному и противоположным им или контрадикторным; но в этом противоположении оно тождественно с ними *и есть их истинное основание, в котором они сняты*. То же можно сказать об особенном и единичном». Действительно, редукция логических форм до трёхчленного основания: единичное–особенное–всеобщее, позволяет из приведённой цитаты сделать вывод о том, что между контрарным и контрадикторным нет непреодолимой границы, но только в пределах пространства, определяемого данной редукцией. Именно на это указывает ссылка на *«истинное основание, в котором они сняты»*. Можно предположить - и на это есть базис в виде обобщённых логических форм в символикe И–Цзин - что при переходе от диады к более сложным структурам (триадам, тетрадам и далее) противопоставление контрарных и контрадикторных форм также будет нейтрализовано в *снятом виде*, то есть в виде представления вечно меняющегося мира в виде гексаграмм и более простых мультиграмм.

Известно, что двум типам отношений (контрадикторным и контрарным) соответствует два типа логик, а именно: множествам дискретного типа соответствует логика контрадикторных отношений, а множествам непрерывного типа – логика контрарных отношений [11]. Реальный мир, окружающий нас, является миром непрерывных процессов, миром постоянно изменяющимся, миром, где между противоположностями всегда есть промежуточные элементы. Такому миру соответствуют отношения, описываемые контрарной логикой непрерывного типа. Такие логики хорошо разработаны в различных вариантах в математической логике, но их применение на практике достаточно затруднительно. Именно поэтому для описания объектов контрарного типа на практике применяется более простая дискретная двузначная логика (да – нет), принадлежащая к системе контрадикторных отношений. Описание систем непрерывного типа дискретными средствами всегда содержит возможность ошибки, которая будет тем больше, чем быстрее изменяются объекты, или чем больше времени проходит между отдельными актами наблюдения. Преимущественному использованию контрадикторной логики способствует и то, что в обыденном восприятии окружающий нас мир представляется в виде конечного множества отдельных (дискретных) объектов (вещей), разделённых в пространстве отчётливо выраженными границами [12]. Но, «...где находится граница?» - спрашивает Бэйтсон [13]. Где находится, к примеру, граница между листом бумаги, лежащим на столе и поверхностью стола? Находится ли граница на поверхности стола или на листе бумаги? Очевидно, что там её нет. Граница – это ментальная конструкция – прерывание непрерывности, разность в зрительном или тактильном восприятии, которая обрабатывается мозгом и сообщает о наличии границы. Этот простой пример указывает на общую проблему в построении объяснительных моделей. Например, в экономике за два столетия прочно закрепилась картина экономического мира, в которой механистические модели экономических систем допускают существование изолированных объектов, которым не возбраняется обмениваться потоками энергии, материальных ресурсов, информацией и денежными средствами с другими объектами. Но где пролегает граница между этими, якобы изолированными экономическими объектами? Экономические объекты выделяются из связной действительности просто умственным напряжением, и по умолчанию они предполагаются изолированными.

В концептуальной модели связного мира [14, 15], где объект не может быть описан никак иначе, кроме как вместе со своим окружением, определение границы зависит от установок познающего (или, точнее, конструирующего реальность) субъекта и положения наблюдателя (находится ли он внутри или вне системы). Стандартное рассмотрение таких систем происходит со стороны внешнего наблюдателя, - этим обосновывается механистическая

картина в экономике. Экономические системы предстают перед наблюдателем в виде чёрных ящиков, обменивающихся сырьём, материалами, полуфабрикатами и готовой продукцией – всем тем, что кажется наблюдателю отделёнными друг от друга в пространстве и во времени. Наоборот, для внутреннего наблюдателя, который сам провёл границу между системой и её окружением, становится невозможным игнорировать взаимодействия внутри системы. Концепция двух наблюдателей (внешнего и внутреннего) фиксирует существование границы между контентом и контекстом. На своей «стороне» (внешней или внутренней) каждый из наблюдателей видит свою картину с противоположностями контрарного типа. Лишь пересечение границы порождает контрадикторные противоположности.

### 3 Редукция сложности в модельном пространстве мультиграмм при контрарных и контрадикторных преобразованиях

Выше было указано на операции поворота мультиграмм на 180° (в китайской символике эта операция называется Фань) и замены непрерывных черт на прерывистые и наоборот (операция Дуй). Каждая из этих операций, проведённых независимо друг от друга, разбивает 64 гексаграммы на шестнадцать пар. Известно, что в каноническом расположении Вэнь Вана [8] (далее номера гексаграмм приведены в соответствии с этим расположением) гексаграммы объединяются в пары: гексаграмма с нечётным номером и следующая за ней гексаграмма с чётным номером. Гексаграммы одной пары получают друг из друга именно с помощью операции зеркального отражения (или переворота) Фань. На рисунке 3 показан результат применения операции Фань к двум соседним гексаграммам в порядке Вань Вэна. Гексаграмма с номером 55 (Фэн) переходит в гексаграмму с номером 56 (Люй) и наоборот. На рисунке 4 показан результат применения операции Дуй (замена непрерывных черт на прерывистые) к той же гексаграмме Фэн (№55), которая теперь превращается в гексаграмму Хуань (№59).

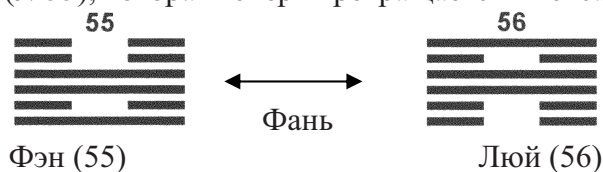


Рисунок 3 - Результат применения операции Фань к гексаграмме номером 55

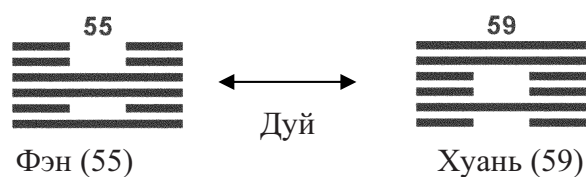


Рисунок 4 - Результат применения операции Дуй к гексаграмме номером 55

Обозначим операцию Фань символом **kr** (что соответствует сути операции, как контрарного преобразования). Соответственно, операцию Дуй обозначим символом **kd** (контрадикторное преобразование). Проведя для каждой гексаграммы контрарное и контрадикторное преобразования, можно получить 16 групп характерных выражений (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Аналитическая запись одной из 16 групп преобразований

$kr\ 58 = 57 = kd\ 51$
$kr\ 57 = 58 = kd\ 52$
$kr\ 52 = 51 = kd\ 52$
$kr\ 51 = 52 = kd\ 58$

Таблица 2 – это пример одной из 16-ти групп выражений для преобразований гексаграмм при действии операций Фань и Дуй. Запись, к примеру,  $kr\ 58 = 57 = kd\ 51$  означает, что контрарное преобразование (поворот на  $180^\circ$ ), применённое к гексаграмме с номером 58, переводит её в гексаграмму с номером 57, которая также может быть получена при контрадикторном преобразовании (замены черт с разорванными на целые и наоборот) гексаграммы с номером 51. В каждой из этих групп выражений взаимными переходами, связывающими контрарные и контрадикторные преобразования, четыре гексаграммы (в таблице 2 это гексаграммы 51, 52, 57, 58) переходят одна в другую.

Чтобы наглядно представить каждое выражение, используем графическое представление, где одинарные стрелки означают операцию **kd**, а двойные - операцию **kr**. Отсутствие двойных стрелок означает, что операция **kr** оставляет гексаграмму неизменной. Номера таких гексаграмм помещены в кружочках, в отличие от остальных, чьи номера находятся в квадратиках. Тогда, например, группа выражений в таблице 2 будет графически представлена следующим образом (см. рисунок 5).

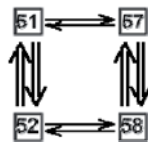
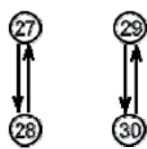


Рисунок 5 - Графическое изображение для преобразований гексаграмм, соответствующих таблице 2

На рисунке 6 представлен пример выражения в графической форме преобразований гексаграмм с №№ 27, 28, 29, 30, которые инвариантны относительно операции **kr**.



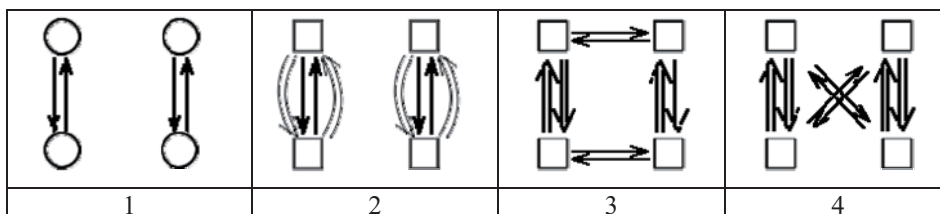
$kd\ 27 = kr\ 28 = 28$
$kd\ 28 = kr\ 27 = 27$
$kd\ 29 = kr\ 30 = 30$
$kd\ 30 = kr\ 29 = 29$

Рисунок 6 - Графическое изображение преобразований гексаграмм, инвариантных относительно поворота на  $180^\circ$

Последовательное применение контрарных и контрадикторных операций к каждой из гексаграмм позволяет выявить четыре и только четыре типа преобразований, изображённых в таблице 3.

Таким образом, если исходить из существования пространства, состоящего из 64-х гексаграмм, то по отношению к двум преобразованиям (контрарному и контрадикторному) оно распадается на четыре подпространства, каждому из которых соответствует свой тип преобразования.

Таблица 3 - Графическое изображение четырёх типов преобразований гексаграмм при применении операций Фань (контрарное преобразование) и Дуй (контрадикторное преобразование)





Первый тип преобразований имеет особый характер. Гексаграммы, подчиняющиеся этому типу преобразований (всего их 8), попарно контрадикторны по отношению друг к другу и инвариантны относительно контрарной операции (рисунок 7).

Второму типу преобразований подчиняются также 8 гексаграмм, которые также попарно контрадикторны друг другу, но не являются инвариантными по отношению к контрарной операции. Контрарные и контрадикторные операции действуют на эти гексаграммы одинаково (рисунок 8).



Рисунок 7 - Первый тип преобразований гексаграмм при применении операций Фань и Дуй (контрарное и контрадикторное преобразования соответственно)

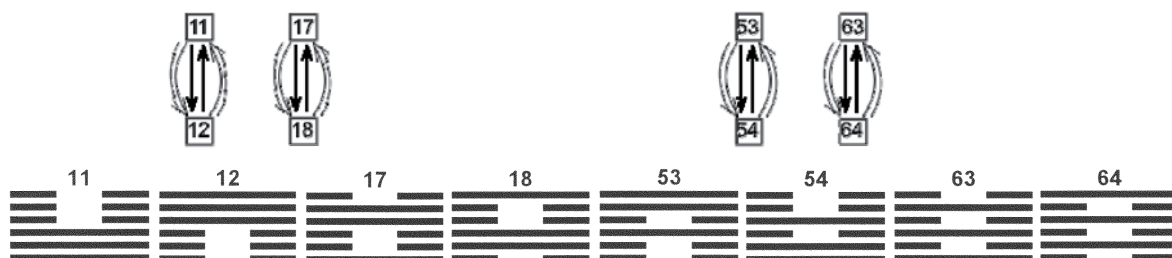


Рисунок 8 - Второй тип преобразований гексаграмм при применении операций инверсии и двойственности (для иллюстрации приведены также 8 гексаграмм, относящиеся к данному типу преобразований)

Третьему типу преобразований соответствует 7 преобразований и 28 гексаграмм (рисунок 9).

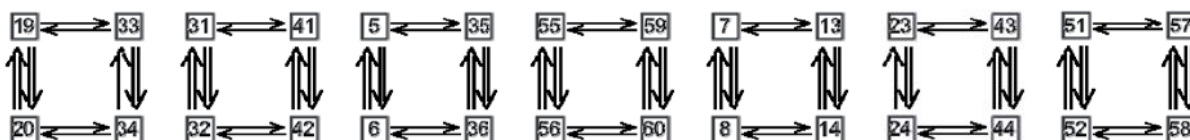


Рисунок 9 - Третий тип преобразований гексаграмм при применении операций Фань и Дуй

Четвёртому типу преобразований соответствует 5 одинаковых преобразований и 20 гексаграмм (рисунок 10).



Рисунок 10 - Четвёртый тип преобразований гексаграмм при применении операций Фань и Дуй

Каково же должно быть минимальное количество черт у формы (обобщённое название мультиграмм), чтобы проявился закон преобразования, изображенный в таблице 3? Нетрудно показать, что именно тетраграммы являются тем типом мультиграмм с наименьшим количеством черт, которым соответствует замкнутая система из четырёх преобразований. Замкнутая в том смысле, что каждая из 16 тетраграмм входит только в один из четырёх типов



преобразования, в отличие от гексаграмм, где в каждый класс преобразований попадает от 4 до 28 гексаграмм.

Интерпретируем полученные результаты. В видимом пространстве двумерной плоскости было определено четыре операции. Первая – это метка части целого сплошной чертой – «Ян». Другая часть (не обязательно оставшаяся, а просто другая) отмечена прерывистой чертой «Инь» – это вторая операция. Это операции различения. Если на этом остановиться, то можно было бы сделать и наоборот, – обозначить часть пространства не сплошной чертой, а прерывистой, а другую – сплошной.

Третья операция – построение комбинаций из частей, используя их в виде своего рода элементарных кирпичиков; такого рода комбинации были названы мультиграммами, но в более общей формулировке их лучше называть формами.

Четвёртая операция – это определение направления: считая черты снизу вверх (так определено в И-Цзин), тем самым определяется направление, но, как оказывается, не только оно. Определение направления – это также определение в неявной форме новой сущности – границы между частями. Это легко понять, взглянув, к примеру, на рисунок 1, на котором представлены простейшие формы. Хорошо видно, что в диграммах Тай (как «Инь», так и «Ян») направление не имеет значения, – пространство форм (диграмм) гомогенно и не зависит от направления. В случае форм Шао пересечение форм снизу вверх не эквивалентно сверху вниз, а это, по определению, означает существование границы.

Второй важный аспект введения направления – это введение наблюдателя. Направление без наблюдателя не имеет смысла, так как черты форм считаются снизу вверх, и предполагается, что привилегированным положением, то есть то, откуда начинается счёт, является «низ», где помещён наблюдатель (или, что то же самое, откуда скользит взгляд человека).

На этапе построения простейших форм – диграмм пространства Тай и Шао ещё расцеплены, или можно сказать, что они не взаимодействуют. Добавление ещё одной черты (Инь или Ян) – переход к триграммам – приводит к появлению трёх подпространств в пространстве форм из восьми триграмм. Из которых четыре преобразуются по закону, изображённому на рисунке 10, а остальные четыре начинают взаимодействовать друг с другом по закону, изображённому на рисунке 8. Переход к тетраграммам приводит к появлению всех четырёх типов преобразований, изображённых в таблице 3. Появляется новый тип преобразований перекрёстного типа (рисунок 10). Дальнейшее добавление черт, то есть переход к 32-м пентаграммам, затем к 64-м гексаграммам лишь увеличивает количество форм, вовлечённых в один из четырёх классов преобразований, но не порождает новых типов преобразований. В таблице 4 показано распределение форм по четырём типам преобразований.

Таблица 4 - Распределение форм (мультиграмм) по четырём типам преобразований

Преобразования \ Формы	1	2	3	4
Триграммы 8	4	0	4	0
Тетраграммы 16	4	4	4	4
Пентаграммы 32	8	0	24	0
Гексаграммы 64	8	8	28	20

Таким образом, можно утверждать следующее. Закон преобразований, изображённый в виде четырёх типов преобразований контрарного и контрадикторного типа (таблица 3), является универсальным законом преобразований для любых форм, составленных комбинатор-

ным способом из двух типов элементов и пронумерованных в любом порядке, количество которых задаётся степенным рядом по формуле  $2^n$  с числом элементов равным четырём или более. Сколь бы не были сложными формы, построенные таким способом, закон их преобразования при применении контрадикторных и контрарных операций сводится всего к четырём типам преобразований.

Можно было выбрать в качестве этих двух элементов, к примеру, «х» и «у», а в качестве выделенного направления избрать направление слева - направо. Тогда условная запись диграмм, изображённых на рисунке 1, в этих символах выглядит так:

1	2	3	4
хх	ху	ух	уу

Вот так в аналитической записи можно изобразить 16 тетраграмм (читать слева направо).

хххх	ххху	ххуу	хууу
уууу	ууух	уухх	уххх
хуху	ухух	хухх	хууу
ууух	ухуу	ууху	ууху

Контрадикторное преобразование переводит выражение ууху в ххух. При контрарном преобразовании ууху переходит в ухуу. И так далее. Вопрос состоит в том, можно ли заметить, что четверки вышеуказанных выражений при контрарных и контрадикторных преобразованиях распределяются по четырём типам (таблица 4). А если формы будут ещё более сложные - пентаграммы, гексаграммы и далее, то заметить этот универсальный закон крайне трудно, если не невозможно. Экспериментальное наблюдение математических фактов такого рода, которые скрыты в аналитических записях, академик В. Арнольд называл экспериментальной математикой [16]. Скрытой («невидимой») и неизменной сущностью форм оказывается существование универсального закона преобразования форм в виде четырёх типов (элементов) преобразований, не зависящих от нумерации форм и положения наблюдателя. В различных областях знания есть множество примеров проявления этой четвероякости природы. Вот только некоторые из них [17]: четыре группы крови; четыре характеристики (s, p, d, f) «алфавита» атомов; четыре символа алфавита кварков; четыре типа связи атомов в веществе (ковалентная, вандерваальсова, ионная и металлическая); кодирующие четвёрки нуклеотидов, из которых два пуриновых основания – инварианты ДНК и РНК. Эти задачи предоставляют широкое поле для изучения возможностей применения вышеуказанного универсального закона. Ниже приводится пример из теории экономических структур.

#### 4 Инварианты в модельном пространстве экономических структур

В работе [18] построены модели обобщённых экономических структур (ОЭС), исходя из учёта осуществляемых ими четырёх типов действий: потребление-воздействие, обмен, распределение-концентрация, производство. Двойственность процессов взаимодействия состоит в том, что потребление-воздействие, как и распределение-концентрация составляют неразделимые пары понятий. Невозможно потреблять без воздействия на то, что потребляешь и, соответственно, распределять то, что не было сконцентрировано. Потребление-воздействие и распределение-концентрация носят индивидуальный характер, а обмен и производство - общественный характер. Обозначим наличие любого процесса взаимодействия из четырёх соответствующей буквой: (a) - потребление-воздействие, (e) - обмен, (d) - распределение-концентрация, (p)<sup>5</sup> - производство, а его отсутствие нулем (0). Таким образом, любая ОЭС будет характеризоваться последовательностью из нулей и букв четырёхместной длины. Условимся считать, что места в четырёхместной ячейке обозначают способности ОЭС в том

<sup>5</sup> a – action; e – exchange; d – distribution; p – productivity.

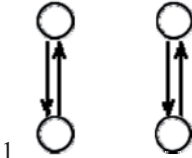
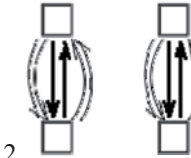
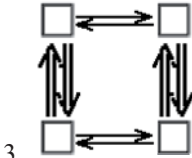
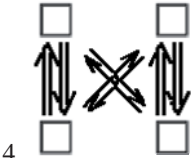
порядке, как они вводились при определении [a,e,d,p]. Например, [0e0p] будет означать ОЭС, характеризующейся способностью к обмену и производству, а [a0dp] будет характеризовать ОЭС с потреблением–воздействием, распределением–концентрацией и производством. Это необходимо сделать, чтобы избежать повтора сочетаний способностей. Тогда количество таких неповторяющихся последовательностей будет равно  $2^4$ , то есть 16 (см. таблицу 5).

Таблица 5 - Возможные ОЭС в зависимости от набора способностей

[0000] Потенциальная ОЭС (не существующая)	[000p] Производственная единица в кооперационной сети.	[00d0] Логистическое предприятие (склад, транспорт)	[00dp] Логистическое предприятие, включенное в кооперационную производственную сеть
[0e00] Торговое предприятие	[0e0p] Предприятие – посредник в кооперационной сети (закупает полуфабрикаты и продает в производственный оборот)	[0ed0] Торговый посредник в логистической системе	[0edp] Торговый посредник в логистической системе, встроенной в производственный цикл
[a000] Индивидуальное домашнее натуральное хозяйство	[a00p] Обрабатывающая единица в кооперационной производственной сети	[a0d0] Внутрипроизводственное обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на склад	[a0dp] Внутрипроизводственное обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на склад с дальнейшей поставкой во внешнюю кооперационную производственную сеть
[ae00] Обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на продажу	[ae0p] Обрабатывающее подразделение с поставкой продукции для участия в кооперационной производственной сети и на продажу	[aed0] Обрабатывающее предприятие с конечной продукцией для потребления	[aedp] Обрабатывающее предприятие с собственным циклом обработки, складирования, транспортировки, поставляющее конечную продукцию и продукцию другим предприятиям для участия в кооперации

Известно, что если имеется некоторое конечное множество, (например, как у нас из шестнадцати элементов), то можно построить отображения этого конечного множества в себя. Каждой точке этого конечного множества по некоторому правилу сопоставляется новая точка. Правило, вообще говоря, можно придумать любое, в том числе случайное, например, по результатам метания игральной кости. В результате могут получаться различные структуры, которые так любят изучать математики. Но это в математике, где все точки, как говорят математики, вырождены, то есть равнозначны. Так, в математике, точка [0110] отличается от точки [1100] лишь расположением в некотором абстрактном четырёхмерном пространстве действий [aedp]. Но с нашими «точками», описывающими различные типы ОЭС, дело обстоит совсем иначе. За нулями и буквами теперь скрываются определённые наборы экономических действий, и это накладывает ограничения на возможные отображения. Например, невозможно отобразить ОЭС с кодом [0e0p] (предприятие – посредник в кооперационной сети) в ОЭС с кодом [a0d0] (внутрипроизводственное обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на склад). Зададимся вопросом: какого рода структуры могут отображаться друг в друга, по какому правилу, какие инвариантные сочетания могут существовать и каково их количество? Четыре характеристики ОЭС, также их количество (16) подводят к мысли, что каждой из структур можно сопоставить тетраграмму. Нумерацию черт тетраграмм будем вести снизу вверх, как это и было принято раньше, приписывая последовательности [a,e,d,p] соответственно номера [1,2,3,4]. Применяв закон инвариантных преобразований к моделям экономических структур, получим результат в виде четырёх групп структур, в каждой из которых по четыре ОЭС (см. таблицу 6).

Таблица 6 - Распределение моделей экономических структур по четырём типам преобразований

Преобразования				
1	2	3	4	
Модели	4	4	4	4
Модели четвероякой структуры всего 16	4	4	4	4
Структуры моделей	[0000],[0ed0],[aedp],[a00p]	[0e0p],[a0d0],[00dp],[ae00]	[000p],[aed0],[a000],[0edp]	[00d0],[a0dp],[0e00],[ae0p]

В каждую группу вошли ОЭС с полным суммарным удвоенным набором свойств 2[aedp]. Структуры, которые могут быть образованы, должны подчиняться требованию: ОЭС должны иметь «стыковочные» элементы, а именно процессы взаимодействия одной природы из набора [aedp]. В таблице 7 в качестве примера приведены ОЭС, подчиняющиеся второму типу преобразований. На рисунке 11 изображена экономическая структура, построенная из ОЭС, входящих в эту группу. Она относится к типу «замкнутый цикл». Стрелка ( $\longleftrightarrow$ ) означает возможность соединения различных ОЭС в данной группе в более сложные структуры.

Таблица 7 - Обобщённые экономические структуры, принадлежащие ко второму типу преобразований

[0e0p] Предприятие – посредник в кооперационной сети (закупает полуфабрикаты и продаёт в производственный оборот)	[a0d0] Внутрипроизводственное обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на склад
[00dp] Логистическое предприятие, включённое в кооперационную производственную сеть	[ae00] Обрабатывающее подразделение с поставкой продукции на продажу

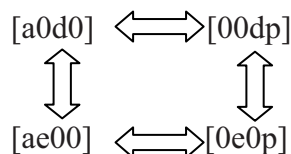


Рисунок 11 - Замкнутый цикл: второй тип преобразований

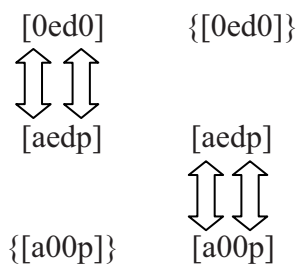
Анализ остальных типов преобразований из таблицы 6 приводит к оставшимся трём типам структур 1,3,4 (рисунок 12).

В экономике встречаются все типы из числа указанных структур, но преобладают линейные структуры (тип 4), относящиеся к так называемой экономике продаж. Для внутренней экономики наиболее выгодными являются замкнутые структуры (тип 2), классифицируемые как экономика фондов. Они генерируют безынфляционные доходы и способствуют устойчивости экономики. Линейные структуры всё равно замыкаются, но происходит это, как правило, за пределами национальной экономики и бенефициарами оказываются экономические агенты других стран.

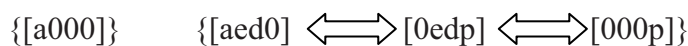
Аналогичные результаты в отношении конструирования более сложных экономических структур из первичных ОЭС были получены в работе [18]. В отличие от [18] рассмотренный подход позволяет получить решение «автоматически», он менее трудоёмкий и лучше защищён от ошибок.

В непрерывном и связном мире любая вещь (в смысле нечто, что существует), оставляет «отпечаток» своего существования в той среде, в которой она находится. Именно это обстоя-

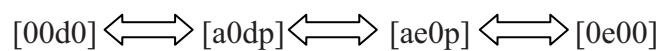
тельство выразил А. Богданов в метафоре формовочной модели и отливочного материала. «Комплекс, – писал он [19], - заключён в своей среде одновременно и как отливочный материал и как формовочная модель, определяясь этой средой в первом смысле и частично определяясь во втором». Комплекс у Богданова не является простой коллекцией элементов и их соотношений, он представляет собой процесс или непрерывный поток «...независимых генерирующих элементов – процессов, заключённых в круги построения и деградации» [20]. «Отливочный материал» и «формовочная модель» - это образы, которые представлены контрарными и контрадикторными отношениями. Комплекс нельзя отделить от его окружения, так как он просто не существует или не взаимодействует вне этого окружения; он структурно связан с окружением и таким образом создаёт своё собственное окружение, вступая с ним в совместное развитие.



(1) несвязная циклическая структура двух типов



(3) несвязная линейная структура из двух частей (части выделены фигурными скобками)



(4) связная линейная структура

Рисунок 12 - Экономические структуры, которые можно построить с использованием преобразований 1,3,4

## Заключение

Выявление четырёх типов инвариантных преобразований, являющихся комбинациями контрарных и контрадикторных отношений в модельном пространстве с основанием из двух противоположных элементов, указывает на новую, ранее скрытую онтологию реальности. В этой онтологии инварианты представлены не объектами, а инвариантными наборами процессов перехода между различными состояниями, соединяющими контрарные характеристики с контрадикторными, объединёнными в «четвёрки». Был применён наглядный математический аппарат, принадлежащий к экспериментальной математике и опирающийся на систему двойственных понятий. В качестве первичных двойственных элементов выбрана для наглядности «Инь-Ян» – система китайской философии. Отмечена связь этой системы с аналитической комбинаторной записью размещения элементов двух типов по произвольному числу мест. Дана формулировка универсального закона инвариантности преобразования форм контрарной и контрадикторной природы, доказано существование и единственность всего четырёх форм преобразований.

Одно из перспективных направлений дальнейшего развития теории может состоять в применении аппарата кортежных представлений. Любая многоаспектная деятельность в этом представлении описывается кортежем, включающим в себя упорядоченную последовательность нечисловых параметров и матрицу связи [21]. Построение такой матрицы в теории кортежей всегда представляет собой нетривиальную задачу. Применение универсального за-



кона инвариантности преобразований упорядоченных последовательностей может значительно облегчить её решение путём редукции основополагающей матрицы к четырём матрицам меньшей размерности и решения задачи по частям, соответствующим четырём блокам.

### Список источников

- [1] *Матурана, У.Р.* Древо познания: биологические корни человеческого понимания / У.Р. Матурана, Ф.Х. Варела // Пер. с англ. Ю.А. Данилова. - М.: Прогресс-Традиция, 2001.- 224 с.
- [2] *Spencer-Brown, G.* Laws of Form / G. Spencer-Brown. - New York: Julian Press. 1972. - 141 p. - DOI: 10.2307/2272151.
- [3] *Кузнецов, П.Г.* Тожество, единство и противоположность грамматических и логических форм / П.Г. Кузнецов // Альманах «Восток». №2(14), 2004 - [http://www.situation.ru/app/j\\_art\\_811.htm](http://www.situation.ru/app/j_art_811.htm).
- [4] *Есперсен О.* Философия грамматики / The Philosophy Of Grammar By Otto Jespersen. Пер. с англ. В.В. Пассека и С.П. Сафроновой. - М.: ИЛ, 1958. - 400 с.
- [5] *Цзунхуа, Ч.* Дао И-Цзина. Путь к прорицанию. – М.: ООО Издательский дом «София», 2004. – 368 с.
- [6] *Талеб, Н.* Антихрупкость. Как извлечь выгоду из хаоса / Нассим Николас Талеб // Пер. с англ. – М.: КоЛибри, Азбука – Аттикус, 2014. – 385 с.
- [7] *Ницше, Ф.* Рождения трагедии, или Эллинство и пессимизм / Ф. Ницше // Сочинения в 2-х томах, том 1. - М.: Мысль, 1990. – 830 с.
- [8] *Щуцкий, Ю.К.* Китайская классическая «Книга перемен» / Ю.К. Щуцкий. - М.: Наука, 1993. – 629 с.
- [9] *Кондаков, Н.И.* Логический словарь / Н.И. Кондаков. - М.: Наука, 1971. - 228 с.
- [10] *Гегель, Г.* Наука логики / Г.В. Гегель // В 3-х т. Т. 3. - М.: Мысль, 1972. - 371 с.
- [11] *Голота, Я.Я.* Два типа объектов реального мира – два типа его формализаций / Я.Я. Голота // SCM–2009 Saint – Petersburg, 25-27 July 2009. - С.91-97.
- [12] *Смирнов, С.В.* Онтологии как смысловые модели / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2013.- №2. – С. 12-19.
- [13] *Бэйтсон, Г.* Шаги в направлении экологии разума / Г. Бэйтсон // Избранные статьи по теории эволюции и эпистемологии. - М.: Комкнига, 2005, - 85 с.
- [14] *Попков, В.В.* Экономический конструктивизм. Ускользающая реальность: что кроется за объективностью экономической науки? / В.В. Попков. - М.: Издательство Ленанд, 2014. - 218 с.
- [15] *Попков, В.В.* От экономики отдельностей – к экономике связности / В.В. Попков // Сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экономика знаний и рынок: проблемы взаимодействия», Курган, Курганский филиал ИЭ УРО РАН, 2011, Т.1. - С.39-43.
- [16] *Арнольд В.И.* Экспериментальная математика / В.И. Арнольд. – М.: ФАЗИС, 2005. - 63 с.
- [17] *Попков, В.В.* Двойственность / В.В. Попков // Философские исследования, № 3 (32), 2001. - С.158-197.
- [18] *Попков, В.В.* Концептуальные основания теории экономических структур. Технологии информатизации профессиональной деятельности (в науке, образовании и промышленности) - ТИПД-2014: Труды IV Всероссийской науч. конференции с международным участием. Том 2, Ижевск, 5-9 ноября 2014 г. Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", с.56 - <https://www.twirpx.com/file/2241900/>.
- [19] *Богданов, А.А.* Тектология. Всеобщая организационная наука / А.А. Богданов. - М.: Финансы, 2003. – 255 с.
- [20] *Zlenu M.* Tectology. *International Journal of General Systems*. 1988. Published online: 06 Apr 2007 - P.331-342. – DOI: 10.1080/03081078808935022.
- [21] Устойчивое экономическое развитие в условиях глобализации и экономики знаний. Концептуальные основы теории и практики управления. Коллективная монография. Под редакцией Попкова В.В – М.: Экономика, 2007. – 238 с.

## THE UNIVERSAL LAW OF INVARIANT TRANSFORMATIONS IN SPACE OF CONTRARY AND CONTRADICTORY LOGICAL FORMS

V.V. Popkov

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

### Abstract

The article describes the features of the human mind in constructing logical categories and his ability to construct reality, which constitutes itself in the form of a network of interrelated logical categories belonging to contrary or contradictory type, based on the concept of constructivism. Consideration of the relationship between grammatical and logical forms leads to the understanding that the latter can manifest itself as combinatorial - topological structures that are well modeled by the trigrams and hexagrams of the ancient Chinese symbolism of the Book of Changes (I Ching). The use of such symbolism allows to identify linkages between structures, hidden in the analytical record through the expressive means of hexagrams. Subsequent application of operations of contrary and contradicting type allowed to identify four types of invariant transformations that are combinations of contrary and contradictory relations in a model space with a basis of two opposite elements, indicating new, previously hidden ontology of reality. In this ontology, invariants are not represented by objects but with transitions between different states, connecting contrary characteristics with contradictory ones. Examples from various fields of knowledge illustrate the fundamental role of a quad-state in a variety of real world processes.

**Key words:** *constructivism, contrariety, contradictory, hexagram, ontology, topology, invariance, logical category, structure.*

**Citation:** Popkov VV. The universal law of invariant transformations in space of contrary and contradictory logical forms [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 2(28): 190-207. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-190-207.

### References

- [1] *Maturana H, Varela F.* The Tree of knowledge. The biological roots of human understanding. Boston, Chamblala Press, 1987.
- [2] *Spenser-Brown G.* Laws of Form. - New York: Julian Press. 1972. - 141 p. - DOI: 10.2307/2272151.
- [3] *Kuznetsov PG.* Tozhdestvo, edinstvo i protivopozlozhnost grammaticheskikh i logicheskikh form. [Identity, unity, and contrast grammatical and logical forms]. [In Russian]. - 1982. - <https://dia-logic.livejournal.com/153090.html>.
- [4] *Espersen O.* Filosofiya grammatiki [The philosophy of grammar]. - M.: IL, 1958. - 400 p.
- [5] *Tsung Jouhva.* Tao I-Ching. Put k proritsaniyu [Way to Divination]. [In Russian]. - M: «Sofiya», 2004. - 368 p.
- [6] *Nassim Nicholas Taleb.* Antifragile: Things That Gain From Disorder (Incerto). NY: Random House Trade Paperback. 2012. - 519 p. - ISBN: 9781 4000 67824.
- [7] *Nitshe F.* Rozhdenii tragedii, ili ellinstvo i pessimizm [The birth of tragedy, or ellinity and pessimism]. [In Russian]. Sochineniya v 2-h tomah, tom 1, Moskva: izdatelstvo "Myisl", 1990. - 830 p.
- [8] *Schutskiy YuK.* Kitayskaya klassicheskaya «Kniga peremen». [Chinese classic "Book of changes"]. [In Russian]. - M.: Nauka, 1993. - 629 p.
- [9] *Kondakov NI.* Logicheskii slovar [Logical dictionary]. [In Russian]. - M.: Nauka, 1971. - 228 p.
- [10] *Hegel G.* Nauka logiki [Science of logic]. [In Russian]. - M.: Myisl, 1972, Kniga tretaya. Sub'ektivnaya logika ili uchenie o ponyatii. - 371 p.
- [11] *Golota YaYa.* Dva tipa ob'ektov realnogo mira – dva tipa ego formalizatsiy [Two types of real-world objects – two types its formalizations]. [In Russian]. - SCM–2009 Saint–Petersburg, 25-27 July 2009. - P.91-97.
- [12] *Smirnov SV.* Ontologies as semantic models. *Ontology of designing*. 2013; 2(8): 12-19.
- [13] *Bateson G.* Shagi v napravlenii ekologii razuma [Steps to an ecology of mind]. Selected articles on the theory of evolution and epistemology. [In Russian]. - M.: Komkniga, 2005. - 85 p.
- [14] *Popkov VV.* Ekonomicheskii konstruktivizm. Uskolzayuschaya realnost: chto kroetsya za ob'ektivnostyu ekonomicheskoy nauki? [Economic constructivism. Escaping reality: what lies behind the objectivity of economic science?]. [In Russian]. - M.: Izdatelstvo Lenand. 2014. - 218 p.
- [15] *Popkov VV.* Ot ekonomiki otdelnostey – k ekonomike svyaznosti. [From the economy of separateness – to the economy of connectivity]. [In Russian]. Sb. trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhd-

narodnym uchastiyem «Ekonomika znaniy i rynek: problemy vzaimodeyst-viya». Kurgan. Kurganskiy filial IE URO RAN. 2011. V.1. - P.39-43.

- [16] **Arnold VI.** Eksperimentalnaya matematika [Experimental mathematics]. [In Russian]. – M.: FAZIS. 2005. - 63 p.
- [17] **Popkov VV.** Dvoystvennost. [The duality]. [In Russian]. Filosofskiye issledovaniya. 2001; 3(32): 158-197.
- [18] **Popkov VV.** Kontseptualnyye osnovaniya teorii ekonomicheskikh struktur. [Conceptual foundations of the theory of economic structures] Tekhnologii informatizatsii professionalnoy deyatel'nosti (v nauke, obrazovanii i promyshlennosti) [In Russian]. - TIPD-2014: Trudy IV Vserossiyskoy nauch. konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Tom 2. Izhevsk. 5-9 November 2014. Izhevsk: Izd-vo "Udmurtskiy universitet". - 56 p. - <https://www.twirpx.com/file/2241900/>.
- [19] **Bogdanov AA.** Tektologiya. Vseobshchaya organizatsionnaya nauka. [Tectology. Universal organizational science]. [In Russian]. - M.: Finansy. 2003. - 255 p.
- [20] **Zeleny M.** Tectology. *International Journal of General Systems*. 1988. Published online: 06 Apr 2007 - P.331-342. – DOI: 10.1080/03081078808935022.
- [21] Ustoychivoye ekonomicheskoye razvitiye v usloviyakh globalizatsii i ekonomiki znaniy. Kontseptualnyye osnovy teorii i praktiki upravleniya. [Sustainable economic development in the context of globalization and the knowledge economy. Conceptual foundations of the theory and practice of management]. Kollektivnaya monografiya. Pod redaktsiyey Popkova V.V. [In Russian]. – M.: Ekonomika. 2007. – 238 p.

## 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 136 публикаций и 7 монографий (4 в соавторстве). Область научных интересов: финансы и кредит, эволюционная экономика, эконофизика, экономический конструктивизм, теория познания.

**Valerian Vladimirovich Popkov**, 1949 b. He graduated from the Ural state University (1972) and the Sverdlovsk Institute of national economy (1983), Doctor of Economics (2002), Professor (2006). He is Director of the Autonomous nonprofit organization, Author of 136 publications and 7 monographs (4 co-authored). Research interests: finance and credit, evolutionary economics, econophysics, economic constructivism, the theory of knowledge.

УДК 303.316. 32

## ЭТИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭПИСТЕМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.М. Бекарев<sup>1</sup>, Г.С. Пак<sup>2</sup>

Нижегородский национальный исследовательский университет, Нижний Новгород, Россия

<sup>1</sup> [adrian.bekarev@yandex.ru](mailto:adrian.bekarev@yandex.ru), <sup>2</sup> [galinapak5@gmail.com](mailto:galinapak5@gmail.com)

### Аннотация

В статье обсуждается проблема норм, регулирующих постсоциальные отношения. Под постсоциальными отношениями понимаются не отношения между людьми, а отношения между акторами в терминологии Б. Латура. В социологии вещей акторы представляют собой социотехнические системы, между которыми осуществляется взаимодействие. Социотехническая система состоит из человека и технических устройств. Другой вид постсоциальных отношений представлен взаимодействием человека с эпистемическими объектами. Эпистемический объект характеризуется постоянно разворачивающейся структурой, способен усваивать знания в процессе взаимодействия с человеком, его развитие непредсказуемо и многократно увеличивает риски человеческого существования. Принципиальная новизна объекта в том, что он создан человеком и является сложнейшим техническим артефактом. Возникает традиционный этический вопрос: имеет ли человек право проектировать и создавать эпистемические объекты, которые в силу своей природы увеличивают риски человеческого существования. Вопрос риторический, поскольку эпистемические объекты, имеющие техническую природу, уже существуют. Следует признать, что само человечество состоит исключительно из эпистемических объектов, имеющих органическую природу. Ребенок обладает всеми свойствами эпистемического объекта, но никто не предлагает не иметь детей на том основании, что их развитие не прогнозируемо и не гарантирует счастливого родительства. Не случайно исследователи используют социологический инструментарий и теории социализации для изучения эпистемических объектов. Человечество сегодня стоит у порога нового. Если с эпохи Возрождения осуществлялась перекачка атрибутов божественного на человека, то не происходит ли сейчас перекачка атрибутов человеческого на сложнейшие информационные технические устройства? Предлагается анализировать постсоциальные отношения в этическом измерении. Авторы полагают, что человечество больше выиграет, если будет использовать этические нормы для регуляции постсоциальных отношений.

**Ключевые слова:** аутопойезис, постсоциальные отношения, акторно-сетевой подход, системная теория, эпистемический объект, цифровая платформа, этика, техноэтика.

**Цитирование:** Бекарев, А.М. Этический контекст проектирования эпистемических объектов / А.М. Бекарев, Г.С. Пак // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.208-218. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-208-218.

### Введение

Повседневный деятель сегодня, не будучи специалистом в области высоких информационных технологий, сталкивается с проблемами, которые возникают в процессе коммуникации с техническими устройствами. Например, цифровой помощник *Сири* (Siri). Жёсткого алгоритма взаимодействия с Сири не существует, это своеобразный цифровой аналог человеческого общения, основанный на устной речи. Сири - не она и не он, а, в возможности, и она, и он. Всё зависит от того, с каким голосом ты её настроишь, главное, чтобы информационный помощник больше нравился своему хозяину. Нам нравится Сири в ипостаси «она». В дальнейшем не будем оспаривать её принадлежность к женскому роду. Мы просим её позвонить другу, задаём вопросы о погоде, обращаемся с шуточной просьбой рассказать анек-

дот. Тон звучания металлической речи то обиженный, то недоумевающий... Или это нам только кажется...

Безусловно, антропоморфизм - неотъемлемая черта человеческого восприятия. Но вглядываясь в фотографии нашей Вселенной, полученные при помощи телескопа Хаббла, начинаешь склоняться к мысли, что она действительно живая, а может быть, ещё и разумная... Мы разговариваем с растениями, от этого они лучше растут. Наши четвероногие друзья и понимают, и чувствуют нас. Человек в ответе за того, кого приручил. Совершенно очевидно, что существуют определённые этические нормы, регулирующие взаимодействие природы и человека, отношения с нашими «братьями меньшими». Мораль человека простирается от «звёздного неба надо мной до морального закона во мне»<sup>1</sup> [1]. Любые взаимодействия, в которых присутствует человек, а не только отношения между людьми, регулируются нравственными нормами. А возможна ли и насколько правомерна экстраполяция человеческой морали и нравственности на отношения человека и его творений, в частности, на сферу взаимодействия с техническими цифровыми артефактами? Повседневная жизнь человека учит, что техническое устройство, аппаратная часть «любит одни руки». Это относится к автомобилю, пылесосу... А ваш любимый ноутбук, после того, как Вы на время уступили его другому человеку, вполне может спросить: «Сменить пользователя?».

Сегодня нельзя не учитывать главенствующей роли науки и технологии в создании и функционировании общества. Следовательно, стоит принять как данность тот факт, что фундаментальное различие между человеком и техническим артефактом утрачивает очевидность. За примерами не придётся далеко ходить: индивид с мобильным телефоном. Возникает потребность в установлении «отношений между категориями материального и символического, вещного и социального» [2].

## 1 Между вещным и социальным: акторно-сетевой подход

Бруно Латур и Мишель Каллон, разработавшие акторно-сетевую теорию в 70-е годы прошлого века, особо подчеркивали необходимость преодолеть традиционную философскую дихотомию объекта и субъекта. Преодоление состоялось без шокирующих объявлений о смерти какой-либо из сторон. Тот, кто познаёт и действует является не субъектом, а актором. Актор – это то, что или кто, скорее и кто и что, совершающее действие. Мысль простая, что учёный без своих приборов, сложнейших установок, стен лаборатории и т.п., не может быть учёным. По мнению Б. Латура, действующим лицом является гибрид, который представляет симбиоз сложных лабораторных объектов и деятельности учёного. Для нас важно, что в контексте действия живое становится неотличимым от неживого. Неотличимость проявляется не в том, что находясь в здравом уме и трезвой памяти, не увидеть отдельно человека и не увидеть отдельно телефона в руке. Чтобы быть участником коммуникации потенциально доступным всегда и везде для другого участника коммуникации, человек, как современный школьник, не должен расставаться с телефоном ни на минуту.

Похожие мысли высказывал К. Маркс, характеризуя средство труда. Средство труда есть «предмет, которым человек овладевает непосредственно». «Так данное самой природой становится органом его деятельности, органом, который он присоединяет к органам своего тела, удлиняя, таким образом, вопреки библии, естественные размеры последнего» [3]. В «Капитале» К. Маркс конкретизирует понятие неорганическое тело, введённое им ещё в «Экономическо-философских рукописях» 1844 года [4].

Повседневный деятель XXI века не с чужих слов знает о наличии неорганического в человеческой телесности. Возвращаясь к теме морали, нужно выстроить два традиционных

<sup>1</sup> Автором этой слегка переделанной цитаты является Э. Кант. *Прим.ред.*



дискурса: каковы этические параметры отношения к неживому, восполняющему дефекты человеческой телесности, и отношения к тем техническим артефактам, которые увеличивают человеческие возможности.

*Дискурс первый.* Неорганическое в теле человека, которое служит улучшению функционирования телесности конкретной человеческой особи, заслуживает того, чтобы к нему относились не просто как к живому, а как к самому себе.

*Дискурс второй.* К. Маркс употреблял понятие «неорганическое тело» человека метафорически. Речь идёт о вещах, которые либо увеличивают силу человеческого воздействия на предметы труда, либо способствуют скорейшему достижению цели. Для нас важно то, что неорганическое тело выражает единство живого и не-живого.

Бруно Латур ведёт речь о социотехнических сетях, где внимание привлекают, прежде всего, узлы-акторы, или гибриды, или социотехнические системы. Если принимать данную теоретическую установку и рассуждать последовательно, то нужно сделать вывод, что вступают во взаимодействие, коммуницируют между собой, не люди, а социотехнические системы. Но какие нормы, в конечном счете, регулируют взаимодействия социотехнических систем? Для повседневного деятеля, не погрязшего в теоретизировании, совершенно ясно, что речь идёт не о функциональных нормах эксплуатации технических систем, а о правовых и нравственных. Нравственные нормы, как свидетельствует история, и универсальнее, и понятнее. Мораль и нравственность присущи только людям<sup>2</sup>, но возникает необходимость экстраполировать их и на социотехнические системы, поскольку нет другой альтернативы. Итак, мы применяем моральные критерии и нравственные нормы к социотехническим системам. Социотехническая система состоит из людей и не-людей и даёт возможность каждому выразить себя...

## 2 Эпистемический объект

Итак, актор это не человек, и не вещь, а социотехническая система, состоящая из того и другого. Сюжет становится ещё более захватывающим, когда на сцене появляется эпистемическая вещь или эпистемический объект. Понятие «эпистемический», будь то вещь или объект, является относительно новым для научного и философского дискурса. Название эпистемический произошло от древнегреческого понятия «эпистема». Под эпистемой понималось получение знания ради знания, познание мирового космического логоса. Античная *episteme* есть, прежде всего, философия, ибо она исследует предельные основания бытия, первопричины [5]. Эпистема противопоставлялась доксе, знанию, которое использовалось для решения практических задач.

Термин «эпистемическая вещь», а не «эпистемический объект», был предложен впервые Х.-И. Райнбергером для обозначения «разворачивающейся структуры, нетождественной самой себе» [6]. Введение данного понятия оказалось важным, поскольку дало возможность отличать «эпистемическую вещь» от технологических вещей с заранее заданными свойствами [7, 8]. С момента артикулированности того, что человек имеет дело с эпистемическими вещами, начинается другая страница человеческой истории. Эпистемическая вещь не просто порождена знанием, а существует и развивается, благодаря постоянной подпитке знанием, которое получает от людей. Субъектам кажется, что они просто пользуются сложными объектами, а на самом деле объекты саморазвиваются и способны к саморазворачиванию своей

---

<sup>2</sup> Любое обобщение в конкретном случае обычно «не работает». Приведённое авторами утверждение о «приватизации» этих важных атрибутов высокоорганизованных живых существ в свете накопленных знаний о человеке, скорее всего, является мифом, выгодно позиционирующим «венца природы». Во-первых, не всем людям эти качества присущи (людоеды, убийцы, маньяки, педофилы...); во-вторых, преданность, самопожертвование и другие качества одомашненных (и не только) животных порой существенно выше человеческих! *Прим.ред.*

структуры. В качестве примера чаще всего приводят фондовые биржи и интернет-коммуникации.

Во-первых, следует подчеркнуть смысловую близость эпистемической вещи и актора. И то, и другое являются образованиями, которые в своей эволюции преодолели порог сложности либо гибридных, либо технических систем. Бруно Латур вводит свою трактовку объективности, которая предполагает наличие таких объектов, которые способны возражать тому, что о них сказано [9].

Вещи способны «давать отпор», когда они ломаются. Эпистемические вещи могут выходить из-под человеческого контроля. Они не просто ломаются, а перестают выполнять свои, артикулированные человеком, функции. Во-вторых, эпистемическая вещь ещё более удивительна и загадочна. Она не тупо сопротивляется, а меняется сама в результате взаимодействия с субъектом, носителем знания. «Аристократичность» эпистемической вещи проявляется в том, что чаще всего она подпитывается экспертным знанием. Получает «элитное образование».

Сегодня социологи на переднем крае научного фронта. Кнорр-Цетина К. и Брюггер У. представили фондовый рынок как эпистемическую вещь, где объектами (субъектами) одновременно выступают и люди, и предметы [10]. Они исходят из идеи Ж. Лакана о субъекте как предлежащей структуры желаний, руководствуясь динамикой человеческих потребностей и признавая невозможность их удовлетворения [11]. Используя социологические методы изучения финансового рынка (включённое наблюдение, интервью), они опирались собственно и на социологическую теоретическую базу. Рынок подобен актору Б. Латура, относительно самостоятельный феномен, который складывается в процессе непрерывного взаимодействия людей и не-людей. Социологи для описания данной коммуникации используют формулу Дж. Мида и понятие «обобщённого другого» [12]. Они полагают, что «межсубъектная рефлексивность» появляется тогда и только тогда, когда индивид усваивает установку другого по отношению к себе. Процесс взаимного усвоения установок друг друга носит непрекращающийся характер. Трейдеры ощущают себя находящимися внутри рынка, а рынок в их представлении выступает как обобщённый коллективный другой. Для характеристики своих отношений с рынком трейдеры употребляют понятийный аппарат из сферы секса. Корр-Цетина К. и Брюггер У. предлагают расширить понятие социальности до такой степени, чтобы оно включало в себя не только взаимодействие с группой людей, но и коммуникацию с неодушевлёнными предметами, используя теоретический и инструментальный аппарат социологии для изучения эпистемических вещей [10].

Российские исследователи Е.Н. Ивахненко и Л.И. Агтаева «эпистемической вещи» предпочитают понятие «эпистемического объекта», но чаще употребляют их в качестве синонимов. Они относят свою статью к разряду постсоциальных исследований. Постсоциальные исследования характеризуются, прежде всего, рассмотрением изменчивости развития общества как проявлением его аутопойезиса, анализом рисков, неожиданно возникающих в тех случаях, «когда объектные культуры получают преимущества, а представленные таким образом объектные отношения составляют конкуренцию отношениям человеческим» [7]. Авторы этой статьи работают в перспективе, которую можно обозначить как построение постсоциальных теорий социального. В нашем случае важно, что используются идеи аутопойезиса, понятого в духе Ф. Матураны и У. Варелы. Чилийские нейробиологи отрицают наличие чьего-либо рационального плана эволюции. Скорее, эволюция - это естественный дрейф. Используют аналогию блуждающего скульптора, творения которого определяются не его замыслом, а структурой находок. Биологическая жизнь стирает следы своих начал, а не объективирует их в конкретных проявлениях [13].

Положения Н. Лумана о коммуникации как системной теории общества, из которых следует, что коммуникация не имеет эталона своего осуществления, а базируется на логике различий, чрезвычайно важны для постсоциальных исследований [14]. Мы сознательно употребляем понятие «эпистемический объект», а не «эпистемическая вещь», поскольку объект является традиционной и чётко определённой гносеологической категорией. Наш умысел состоит в том, чтобы обозначить отличие собственной позиции от других, используя понятие «эпистемического объекта», а не «эпистемической вещи».

Исходная гносеологическая схема: субъект-объект. Объектом является не природный объект, а технический объект, который создан в результате целесообразной человеческой деятельности. Уникальность технического объекта в том, что заранее заданные человеком технологические свойства позволяют ему самостоятельно эволюционировать, «взрываться», «мутировать», постоянно перестраивать свою структуру в результате усвоения тех знаний, которые он способен получать от человека и себе подобных. Вот такой объект, который способен выйти из-под человеческого контроля, и существование которого ведёт к небывалому возрастанию рисков человеческого существования, мы и называем «эпистемическим объектом». Если «эпистемическая вещь» состоит из людей и не-людей, то наш «эпистемический объект» - не-людь. Он имеет своего творца. Наша мысль на удивление проста и банальна: имеет ли учёный (сообщество учёных) моральное право проектировать и давать «жизнь» эпистемическим объектам?

Постановка вопроса не новая, но не утратила своего значения. Она лишь подтвердила идею об ограниченности человеческой рациональности и непреодолимой стихийности общественного развития. Не только учёный, но и продвинутый повседневный деятель вступает во взаимодействие с эпистемическими объектами, например, в виде цифровых платформ. Появились публикации по уберизации<sup>3</sup> в контексте трудовой занятости населения [15].

Быть искренним и честным перед самим собой - это неперемное условие философствования не только со времен Ф. Ницше. Давайте не будем делать вид, что человек до нынешней информационной революции не сталкивался с чем-то похожим на эпистемический объект, но имеющим принципиально иную природу, иной материал. Если перед родителями поставить задачу сравнить поведение эпистемического объекта и их собственного ребенка, то они будут вынуждены признать их функциональное тождество. Отсюда становится вполне понятным привлечение идей из арсенала социологии, в частности, теории социализации Дж. Мида для описания фондового рынка – эпистемической вещи у К. Кнорр-Цетины и У. Брюггера. Это необычно и выбивает из колеи. Но если следовать логике постсоциальных исследований, мы пришли к закономерному результату. Традиционный эпистемический объект был человеком, а нынешний, чаще всего, представляет собой электронное информационное устройство. Научный аппарат, доказавший свою эффективность при изучении естественного эпистемического объекта, может быть применен к эпистемическим объектам, имеющим техническую природу.

### 3 Для кого «золотое правило нравственности»?

Вопрос, который встаёт перед человеком в его повседневной практике, состоит в том, распространяется ли на неживой эпистемический объект, который ведёт себя совсем как живой, «золотое правило нравственности»? Должны ли нравственные нормы регулировать отношения не только между людьми, но все отношения, в которые включен человек?

---

<sup>3</sup> Уберизация — термин, производный от названия компании *Uber*, относят к использованию компьютерных платформ, таких как мобильные приложения.

Цивилизация в своём развитии зашла слишком далеко, и чтобы найти ключ к решению современной проблемы, полезно вернуться к истокам. С именем Аристотеля связывают начало теоретической практической философии, то есть, этики. Свои рассуждения Стагирит начинает с определения природы человека, её места в космическом мироздании. Для нас это особенно важно. Жизнь, как питание и рост, сближает человека с растениями. Роднит человека с животными чувственная жизнь. Главное отличие человека от всего живого в том, что он разумно деятелен. Аристотель связывает назначение человека с деятельностью души, согласованной с суждением или не без участия суждения. Душа человека уже для античного мыслителя не выглядит простой. Неразумная часть души состоит из растительной и вожделеющей частей души. Это то, что роднит человека с миром живого. Разумная часть души представлена разумом повелевающим и разумом повинующимся. Повелевающий разум – это чистый разум, живущий в собственной стихии, занимающийся чистым познанием. Разум, управляющий чувствами, есть повинующийся разум. Аристотель пишет: «двусложной будет часть, обладающая суждением, т.е., с одной стороны она [обладает им] в собственном смысле и сама по себе, а с другой – это нечто, слушающееся [суждения, как ребенок] отца. Учитывая это различие, подразделяют и добродетели, ибо одни добродетели мы называем мыслительными, а другие нравственными...» [16]. Рассуждение Аристотеля не утратило своей значимости в современном мире. Наличие у человека растительной и вожделеющей частей души делают и обоснованным, и понятным то «благоговение перед жизнью», о котором говорил А. Швейцер [17]. Древние греки признавали наличие общего между растениями, животными и человеком, но отказывали живому в наличии разума. Происходящее сегодня - то же самое, с точностью наоборот...

Цифровые платформы, современные электронные информационные устройства могут совершать мыслительную деятельность. Нужно набраться смелости и сделать вывод, что наличие повелевающего разума роднит человека с современными информационными устройствами. Возникает вопрос, какие чувства мы испытываем или должны испытывать, например, по отношению к цифровым платформам? Какие содержательные нормы призваны регулировать взаимодействия человека и способных к саморазвитию технических устройств? На необходимость постановки подобных вопросов подталкивает фантастическая литература [18].

Ещё в 70-годы прошлого века Карен А. Симонян в фантастическом произведении «Как узнать тебя?» описывает единственную планету созвездия Лету. Главного героя, аптекаря Нерсеса Мажана, поразило несколько необычных фактов. Он никак не мог понять, почему на этой планете о смерти сообщалось двумя принципиально различными способами: он умер или он отслужил. Одних людей хоронили в гробах, а других упаковывали в коробки и увозили на городскую свалку. В конце концов, до аптекаря дошло, что речь идёт о людях и о клонах конкретных людей. Клоны замещали мужчин и отцов семейств, которые предавались увеселению на других планетах. Живого человека от функционирующего клона невозможно было отличить. Но всё же их научились различать. Клоны, а это были клоны мужчин, не проявляли никакого интереса к женщинам и совсем не тратили денег. Всю зарплату без остатка высылали своим хозяевам на другие планеты. Клоны добросовестно выполняли профессиональные, общественные, и в какой-то мере, семейные обязанности. Единственное чувство, которое испытывали клоны по отношению к собственным оригиналам, выражалось в желании не пустить собственный оригинал на планету Лета. Мужчины, мечтавшие вернуться к прежней жизни и на родную планету, осознав тщетность попыток туда попасть, кончали жизнь самоубийством в зоне прилета [19].

Рассуждая последовательно и отбросив человеческий снобизм, мы приходим к следующим выводам. Электронные информационные открытые системы, имеющие реальные воз-



возможности к саморазвитию и являющиеся эпистемическими объектами, способны к рациональному мышлению. Следовательно, им доступны высшие дианоэтические добродетели: мудрость, сообразительность, рассудительность. Клоны с планеты Лета, очевидно, в аристотелевском смысле, обладают двумя последними дианоэтическими добродетелями. При этом античный мудрец предупреждал, что рассудительность, например, нельзя рассматривать в качестве некоего счётного устройства, которое позволяет находить оптимальные решения в любой ситуации и для достижения любой цели. Аристотель считал, что нельзя быть рассудительным, не будучи нравственным. Быть рассудительным – это своего рода добрый ум. Но что можно сказать об упомянутых клонах, с планеты Лета? Они имели цель сделать планету пространством только для собственного существования без всяких там людей. Цель – безнравственная. Но не будем делать вид, что человечество в лице своих конкретно-исторических субъектов ставит только нравственные цели. Безнравственное, как и нравственное, является сферой осмысления этики. Зло и добро не могут существовать друг без друга, определяют друг друга.

Клонов с фантастической планеты Лета мы выбрали для того, чтобы они служили своеобразной метафорой для сложнейших информационных систем, цифровых платформ и многого другого, что можно отнести к разряду эпистемических объектов. Эти объекты бывают живыми и неживыми, созданными посредством рождения и посредством технического творчества. Проблема заключается в том, обладаем ли мы вескими основаниями для экстраполяции закономерностей взаимодействия и коммуникации с живыми объектами на неживые, прежде всего, речь идет о «золотом правиле» нравственности и нормах поведения.

#### **4 О техноэтике**

Сложившаяся ситуация требует пересмотра предмета техноэтики. Техноэтика сейчас рассматривается как один из вариантов прикладной этики. Переход к прикладной этике в европейской этике конца 20 века является относительно новой тенденцией. Российские философы склоняются к мысли, что прикладная этика связана с философскими образами человека и является специфической частью философской этики. «Этика, понятая как практическая философия, - не философия практики, а практика философии, т.е. не философствование по поводу практики, а сама практика в её философской заданности» [20].

Традиционно техноэтику рассматривают в связи с философией техники, где основные теоретические подходы ориентированы на различное понимание природы и сущности техники. В эпоху информационной революции и складывающейся цифровой экономики рассуждения о том, что человек посредством техники восполняет недостающие по сравнению с животными органы или реализует свою власть на всех уровнях и т.п., выглядят архаичными. В техногенной цивилизации рассматривать технику как прикладную науку - означает жить в мире с закрытыми глазами. И очень опасное заблуждение продолжать анализировать развитие техники как сознательно регулируемый человеком процесс. Можно сколько угодно говорить о техноэтике добродетели, о достоинстве, ответственности, честности инженера. Подчеркивать значимость аккуратности и тщательности, предвидения и предупреждения о нежелательных последствиях. Техноэтика долга острее ставит проблему: экологическое равновесие или преобразование физической природы человека. А вопрос о роли науки и техники в достижении счастья человеческого является, по нашему мнению, если не риторическим, то открытым.

Процессы, происходящие на наших глазах, например, процессы уберизации, становление неживых эпистемических объектов в качестве результата человеческой деятельности, со всей наглядностью показывают, что современные сложнейшие технические объекты в своих



функциях способны заменить человека, из орудия человеческого труда техника превратилась в неизбежного партнера человека. Вопрос в том, как человеку строить отношения с техническими объектами, обладающими мышлением и способными к саморазвитию, а может быть даже, и чувствами? Всезнающий Google прав, техноэтика сегодня – это этика отношений человека и компьютера.

Нас в первую очередь интересует, как осуществлять взаимодействие с теми информационными устройствами, которым свойственны некоторые дианоэтические добродетели, и о которых писал Аристотель. Вопрос о том, обладают ли эпистемические объекты и сложнейшие электронные устройства этическими добродетелями, является открытым. Но осмысление некоторых сюжетов в фантастической литературе, опыт взаимодействия с подобными устройствами в повседневной жизни скорее позволяют предположить, что объекты, о которых идёт речь, вовсе не объекты, а своеобразные субъекты, которым присущи и дианоэтические, и этические добродетели.

В своей полемической статье «Генеалогия морали успеха» А.А. Пилипенко проводит мысль, что начиная с эпохи Возрождения, происходит перекачка атрибутов божественного к человеку. «Перетекание «трансцендентного ресурса» в «приземленные» сферы - процесс не простой и не сводимый к секуляризации по Хайдеггеру» [21]. Западная культура обязана всеми своими достижениями этому процессу перетекания, но в нём же кроется источник её кризисов. Моральный релятивизм Ренессанса берёт начало из этого же источника. Переход от Средневековья к эпохе Возрождения выражается в вытеснении теоцентричной картины мира и её замене на антропоцентричную. Возрожденческий человек уподобил себя Богу. Если в Средние века любое изобретение или любое новшество расценивались как дьявольское занятие, поскольку дьявол выступал как обезьяна Бога, подражал ему, то в эпоху Возрождения творчество оценивается как проявление свободной воли, данной человеку Богом. Эту мысль наши студенты выражают с завидной лаконичностью: «Бог-творец создал мир природы, а человек создал мир культуры. Неизвестно, чьё творение круче». Процесс перекачки, перетекания означает перенос атрибутов Бога на человека, что и нашло отражение в характеристике эпохи как эпохи антропоцентризма. Но история на этом не заканчивается. Сегодня с полной уверенностью можно говорить о перекачке атрибутов человеческого... Человек может относиться к творениям своих рук, как Творец по отношению к тварному миру. На этой вершине сегодня находится сам человек, созданный по образу и подобию Бога. По своему образу и подобию он создаёт артефакты, способные мыслить, а может, и чувствовать. Заняв место Бога в данном конкретном случае, должен ли человек относиться к сотворённому им миру свысока и обладать атрибутами, аналогичными божественным? Вечность противостоит временности и смертности, свобода - зависимости и фатализму и т.п. Нам важна аналогия, тот дискурс, который строится для характеристики отношений человека и Бога. В христианском мировоззрении Творец постоянно вмешивается в дела человеческие, так и человек обеспечивает исправное функционирование цифровых платформ и других электронных устройств. Но Бог дал свободу воли человеку и мир погряз в грехах... Человек отпал от Творца в такой степени, что провозгласил устами Ф. Ницше: «Бог умер!»

Но есть и другой более привычный сценарий отношения творца к своему творению - родители и дети. Для краткости цифровые платформы, эпистемические объекты и другие искусственные устройства обозначим в качестве оригинальных партнёров человека. Оригинальный партнёр - детище человека, а потому может к нему стоит относиться как к ребенку. Ребенка мало родить, его нужно воспитать, но предсказать его будущее невозможно, как и невозможно определить его сходство с родителями: «Яблоко от яблони не далеко падает», а на каком расстоянии находится груша от яблони?

Сегодня необходимо пересмотреть традиционный предмет техноэтики и выстраивать отношения с оригинальным человеческим партнёром на базе этики. «Исследователи мало обращают внимания: появление прикладной этики совпадает по времени и связано по существу с расширением сферы моральных обязанностей и ответственности за пределы межчеловеческих отношений» [20].

### Заключение

Многое из сказанного выглядит фантастичным, можно признавать интеллектуальные способности наших оригинальных партнёров, но отстаивать их неспособность чувствовать... Но лучше обратиться к мудрости Блеза Паскаля. Этот аргумент вошел в историю под названием «пари Паскаля». «Между нами и Богом – бесконечность хаоса. Где-то на краю этой бесконечности идёт игра - что выпадет, орёл или решка? На что вы поставите?» Для разума нет проблем. Он не сомневается в равной вероятности орла и решки. Но вмешивается «сердце» и становится ясно, что ставя «на решку», означающую отсутствие Бога, мы теряем свою конечную жизнь, которая и так обречена. Признавая существование Бога, и ставя «на орла», мы можем выиграть «бесконечно счастливую жизнь» [22]. Относительно нашей ситуации, мы призываем ставить только «на орла»<sup>4</sup>.

### Список источников

- [1] *Бекарев, А.М.* О звездном небе и моральном законе / А.М. Бекарев, Г.С. Пак // *Личность. Культура. Общество.* – 2017. – Т. 19. – №1-2. – С. 157–161.
- [2] *Вахштайн, В.С.* Возвращение материального. «Пространство», «сети», «потоки» в акторно-сетевой теории / В.С. Вахштайн // *Социологическое обозрение.* 2005. Т.4, № 1. - С.94-115.
- [3] *Маркс К., Энгельс Ф.* Капитал // Полное собрание сочинений. Т. 23. - М.: Государственное издательство политической литературы. 1960.
- [4] *Маркс К., Энгельс Ф.* Экономическо-философские рукописи 1844 года // Полное собрание сочинений. Т.42. - М.: Государственное издательство политической литературы. 1974.
- [5] *Аристотель.* Метафизика // Сочинения в 4-х томах. Перев. А.И. Доватура. – М.: Мысль, 1983. – 830 с.
- [6] *Rheinberger H.-J.* Experiment, Difference, and Writing: I. Tracing Protein Synthesis // *Studies in the history and Philosophy of Science.* – 1992. Vol. 23. No.2. - P.305-331. – DOI: 10.1016/0039-3681(92)90037-7.
- [7] *Ивахненко, Е.Н.* Аутопойезис «эпистемических вещей» как новый горизонт построения социальной теории / Е.Н. Ивахненко, Л.И. Агтаева // *Вопросы социальной теории.* Том 7. Вып.1-2. - 2013-2014.
- [8] *Резник, Ю.М.* Человек как субъект конструирования / Ю.М. Резник // *Вопросы социальной теории.* Том 7. Вып. 1-2. 2013-2014.
- [9] *Латур Б.* Когда вещи дают отпор: возможный вклад «исследований науки» в общественные науки / Б. Латур // *Социология вещей.* - М.: Территория будущего. 2006. – С.342–365. - <http://www.prognosis.ru/lib/Socio.pdf>.
- [10] *Кнорр-Цетина К.* Рынок как объект привязанности: исследование постсоциальных отношений на финансовых рынках / К. Кнорр-Цетина, У. Брюггер // *Социология вещей.* М.: Территория будущего. 2006. – С.307–341. - <http://www.prognosis.ru/lib/Socio.pdf>.
- [11] *Лакан, Ж.* Семинары / Ж. Лакан // Кн.11. - М.: Логос, 2004. – 508 с.
- [12] *Белик, А.А.* Теория «Я» Дж. Г. Мида и психологическая антропология / А.А. Белик // *Социальная психология и общество.* 2011. № 1. - С.31–43.
- [13] *Матурана, У.Р.* Дерево познания: биологические корни человеческого понимания / У.Р. Матурана, Ф.Х. Варела // Пер. с англ. Ю.А. Данилова. - М.: Прогресс-Традиция, 2001. - 224 с.
- [14] *Луман, Н.* Введение в системную теорию. Пер. с нем. К.Тимофеева. - М.: Логос, 2007.
- [15] *Сизова, И.Л.* Уберизация и формирование сетевой структуры занятости / И.Л. Сизова, Т.М. Хусяинов // *Известия Тульского государственного университета. Серия Гуманитарные науки.* 2018. № 1. - С.80-88.

---

<sup>4</sup> Здесь авторы имеют в виду обратный ход эволюции: живые системы шли от чувств через эмоции и рассудок к разуму, социотехнические системы «идут» от разума к «сердцу», то есть от интеллекта к эмоциям и чувствам. И где-то на этом пути возникает потребность в морали.

- [16] *Аристотель*. Никомахова этика. Пер. Н.В. Брагинской. Сочинения в 4-х т. Т.4 - М.: Мысль. 1984. - С.53-294.
- [17] *Швейцер, А.* Благоговение перед жизнью. - М.: Прогресс, 1992. - 576 с.
- [18] *Коротков, Н.В.* Онтология и гносеология фантастики. - Киров: Радуга-Пресс, 2014. - 155 с.
- [19] *Симонян, К. А.* Фантастика: [Сб.] / Пер. с арм. И. Карумян. — Ереван: Айастан, 1972. — 316 с.
- [20] *Гусейнов, А.А.* Этика – разве она сама не является практикой? // *Ведомости НИИ ПЭ*. Вып. 32. Прикладная этика: КПД практичности / Под. ред. В.И. Бакштановского, Н.Н. Карноухова. Тюмень: НИИ ПЭ, 2008. - С.124-136.
- [21] *Пилипенко, А.А.* Генеалогия морали успеха / А.А. Пилипенко // *Личность. Культура. Общество*. 2015. Том XVII. Вып. 3-4. №87-88. - С.122–137.
- [22] *Paskal B.* Oeuvres. Paris, 1963. - 667 p.

## ETHICAL CONTEXT OF DESIGNING EPISTEMIC OBJECTS

А.М. Bekarev<sup>1</sup>, G.S. Pak<sup>2</sup>

Nizny Novgorod National Researcher University named by N.I. Lobachevsky, Nizny Novgorod, Russia

<sup>1</sup>[adrian.bekarev@yandex.ru](mailto:adrian.bekarev@yandex.ru), <sup>2</sup>[galinapak5@gmail.com](mailto:galinapak5@gmail.com)

### Abstract

The article discusses the problem of norms that regulate post-social relations. The term relations refers not to interactions with people, but to the actors as they are described by B. Latour. In the sociology of things, actors are sociotechnical systems, interacting with each other. Socio-technical system consists of a person and technical devices. Another type of post-social relationship is represented by the interaction of a person with epistemic objects. The epistemic object is characterized by a constantly unfolding structure, is able to absorb knowledge in the process of interaction with a person, its development is unpredictable and increases the risks of human existence. The fundamental novelty of this object is that it was created by man and is a remarkably complicated technical artifact. A traditional ethical question arises: does a person have the right to design and create epistemic objects, which by their nature increase the risks of human existence. The question is rhetorical, because epistemic objects of a technical nature already exist. It should be acknowledged that humanity itself consists exclusively of epistemic objects that are of an organic nature. The child has all the properties of the epistemic object, but no one is suggesting not to have children on the grounds that their development is not predictable and does not guarantee a happy parenthood. It is no accident that researchers use sociological tools and socialization theories to study epistemic objects. Humanity today is at a new threshold. If, from the Renaissance, the transfer of the attributes of the divine to man has been carried out, is it now that human attributes are being attributed to the most complex information technology devices? It is proposed to analyze post-social relations in the ethical dimension. The authors believe that humanity will benefit more if it uses ethical norms to regulate post-social relations.

**Key words:** *autopoiesis, post social researches, actor-net approach, epistemological object, theory of system, techno-ethic, digital platform, ethic.*

**Citation:** Bekarev AM, Pak GS. Ethical context of designing epistemic objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 208-218. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-208-218.

### References

- [1] *Bekarev AM, Pak GS.* About of starring sky and moral law [In Russian]. *Person. Culture. Society*. - 2017; 19(1-2): 157-161.
- [2] *Vahshstein VS.* Return of material thing. «Space», «Net», «streams» in actor-net theory [In Russian]. *Sociology review*. 2005; 4(1): 94-115.
- [3] *Marx K, Engels F.* Capital [In Russian]. Collection works set. V. 23. - M: State publishing house of political literature. 1960.
- [4] *Marx K, Engels F.* Economy-philosophy handwritings 1844 [In Russian]. Collection works set. V.42. - M: State publishing house of political literature. 1974.
- [5] *Aristotle.* Metaphysics [In Russian]. Collection works in 4 volumes. - M.: Thought. 1984.

- [6] **Rheinberger H.-J.** Experiment, Difference, and Writing: I. Tracing Protein Synthesis// Studies in the history and Philosophy of Science. – 1992; 23(2): 305-331. – DOI: 10.1016/0039-3681(92)90037-7.
- [7] **Ivachnenko EN, Attaeva LI.** Autopoiesis of «epistemological things» as new horizon of building of social theory [In Russian]. The questions of social theory. Science almanac. V. 7, No1-2, 2013-2014.
- [8] **Reznik JuM.** A man as subject of construction. [In Russian]. - M.: Publishing house of independent Institute of Civil Society. 2015. - 288 p.
- [9] **Latur B.** When the things rebuff: possibilities investment of « science researches» in social science [In Russian]. Sociology of things. - M.: A territory of future. 2006. - P.342-365. - <http://www.prognosis.ru/lib/Socio.pdf>.
- [10] **Knorr-Cetina K, Brugger U.** A market as object of attachment: researches of post-social attitudes in financial markets [In Russian]. Sociology of things. - M.: A territory of future. 2006. – P.307–341. - <http://www.prognosis.ru/lib/Socio.pdf>.
- [11] **Lakan J.** The seminars [In Russian]. B.11. - M.: Logos, 2004. - 508 p.
- [12] **Belik AA.** Theory of «Me» of J. Mid and psychology anthropology [In Russian]. *Social psychology and society*. 2011; 1: 31-43.
- [13] **Maturana H, Varela F.** The Tree of knowledge. The biological roots of human understanding. Boston, Chamblaha Press, 1987.
- [14] **Luhman N.** Introduction in system Theory [In Russian]. - M.: Logos, 2007. - P.63-64;
- [15] **Sizova IL, Husainov TM.** Uberization and form of net structure of employment [In Russian]. Bulletin of Tula State University. Series of Human science. - 2018. - P.80-88.
- [16] **Aristotle.** Nikomach ethic [In Russian]. Collection in 4 b. B. 4. - M.: Thought . 1984.
- [17] **Schweitzer A.** An awe before life [In Russian]. - M.: Progress, 1992. - 576 p.
- [18] **Korotkov NV.** Ontology and epistemology of fantasy [In Russian]. - Kirov: Rainbow-Press, 2014. - 155 p.
- [19] **Karen Simonian.** Chemist Nerses Maran [In Russian]. - Erevan, 1977. - 312 p.
- [20] **Huseinov AA.** Ethic - is it practice, is not it? [In Russian]. Statement NII PE. - Tiumen, 2008. - P.124-136.
- [21] **Pilipenko AA.** Genealogy of moral of success [In Russian]. *Person. Culture. Society*. - 2015; 17(3-4): 122-137.
- [22] **Paskal B.** Oeuvres. Paris, 1963. - 551 p.
- 

### Сведения об авторах



**Бекарев Адриан Михайлович** (1955 г.р.), доктор философских наук, профессор, профессор кафедры общей социологии и социальной работы Нижегородского национального исследовательского университета им. Н.И. Лобачевского. Специалист в области философии экономики и социологии управления, автор более 400 работ, в том числе, 5 монографий.

**Adrian Michajlovitch Bekarev** (b. 1955), Ph. D, professor of department of general sociology and social work of Nizny Novgorod national researcher university named by N.I. Lobachevsky. Specialist in area of philosophy of economy and sociology of management, author more than 400 works, including 5 monographs.

**Пак Галина Станиславовна** (1955 г.р.), доктор философских наук, профессор кафедры философии Нижегородского национального исследовательского университета им. Н.И. Лобачевского. Специалист в области философии истории и этики, автор более 200 работ и 3 монографий.

**Galina Stanislavovna Pak** (b. 1955), Ph. D, professor of department of philosophy of Nizny Novgorod national researcher university named by N.I. Lobachevsky. Specialist in area of philosophy of history and ethic, author more than 200 works, including 3 monographs.





УДК 004.02

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ СИСТЕМ ВЕРИФИКАЦИИ ИНТУИТИВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ

А.С. Клещёв<sup>1</sup>, В.А. Тимченко<sup>2</sup>*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия*<sup>1</sup>kleshev@iacp.dvo.ru, <sup>2</sup>vadim@dvo.ru

### Аннотация

Представлена концепция оболочки для интерактивных систем верификации интуитивных математических доказательств и рассмотрены средства спецификации формальных систем, которые могут быть положены в основу такой оболочки: языки описания порождающих графовых и текстовых грамматик, а также язык описания контекстных условий, позволяющие задавать контекстно-зависимые графовые грамматики с конкретным синтаксисом. С использованием этих средств специфицировано ядро формально-логической системы, приближенной к математической практике конструирования доказательств. Описана модель онтологии для представления баз формализованных математических знаний и способов рассуждений, включающая спецификацию сетевой структуры различных разделов математики, а также спецификации порождающих графовых грамматик, описывающих абстрактный синтаксис языков представления математических утверждений (знаний) и способов рассуждений. Определены контекстные условия этих языков. Рассмотрена общая синтаксическая структура полных доказательств и разработанная на её основе модель онтологии полных доказательств. В работе используется подход, основанный на контекстно-зависимых грамматиках и онтологиях, состоящий в разработке явно представленной декларативной спецификации языка представления математических знаний и способов рассуждений (языка математического диалекта), а также модели доказательства. Принципиальная особенность языка состоит в его расширяемости, которая обеспечивается за счёт расширяемости множества определений, позволяющих вводить новые термины для обозначения определяемых понятий и расширяемости его грамматики. Расширяемость грамматики достигается благодаря средствам, позволяющим описать синтаксис каждой новой конструкции языка представления математических утверждений, а также контекстные условия.

**Ключевые слова:** верификация интуитивных доказательств, логическое исчисление, графовые грамматики, база формализованных способов рассуждений, база математических знаний, модель доказательств.

**Цитирование:** Клещёв, А.С. Теоретические основы оболочки для интерактивных систем верификации интуитивных математических доказательств / А.С. Клещёв, В.А. Тимченко // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.219-239. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-219-239.

### Введение

В математической литературе доказательства теорем в теории доказательств получили название интуитивных. Проверка правильности (верификация) интуитивных доказательств теорем является одной из важнейших задач в математических исследованиях [1]. Правильным доказательством может считаться только полное доказательство, выполненное в рамках формальной системы, для которой справедливо утверждение о том, что если для математического утверждения может быть построено доказательство (вывод), то оно истинно (логически общезначимо) [2]. Однако в математической практике, связанной с построением доказательств теорем вручную, такие доказательства не строятся в силу их



громоздкости, а также чрезмерной трудоёмкости этого процесса. Отмечается [3,4], что в математической литературе существует давняя традиция ошибок. Ошибки в доказательствах могут оставаться незамеченными на протяжении долгого времени, а их исправления не публикуются настолько часто, как следовало бы.

В 1994 г. был опубликован QED-манифест [5] анонимных авторов, в котором выдвинуты амбициозные цели – построение корпуса механически (автоматически) верифицированной математики, в том числе формализации математических доказательств, и проверки их правильности.

На сегодняшний день перспективным направлением использования компьютеров для решения задачи обеспечения правильности интуитивных доказательств является разработка интерактивных систем поддержки построения доказательств (СППД) теорем. Они оказывают помощь при вводе формализованного полного доказательства и обеспечивают его правильность (MINLOG, KeY Proover, JProver, ACL2, Mizar, Lean, Matita, ProofPeer, Agda, Nuprl, Epigram и др.) [6–8]. В качестве формальной системы в таких СППД обычно используется либо язык логики предикатов первого порядка, либо язык, основанный на некотором варианте логики предикатов высших порядков или теории типов (строго типизированном  $\lambda$ -исчислении) с развитым, общепринятым синтаксисом арифметических, теоретико-множественных и, возможно, иных выражений [6,7].

Следствием многообразия специализированных логик, с одной стороны, и большой трудоёмкости создания программного средства, реализующего построение доказательств в рамках каждой такой логики или адаптации существующего средства к другой логике, с другой стороны, явилась разработка логико-независимых программных оболочек для создания СППД (PVS, Twelf, Coq, HOL Light, Isabelle/HOL, LCF, БУЦЕФАЛ и др.) [1,6,7,9]. В таких оболочках предлагаются метаязыки для формализации математических знаний и дедуктивных систем (исчислений). В качестве таких метаязыков обычно используются языки программирования, основанные на функционально-императивной парадигме, либо на некотором варианте строго типизированного  $\lambda$ -исчисления с развитой параметрически полиморфной системой зависимых типов и параметризуемыми модулями. При этом для описания правил математического рассуждения используется процедурный подход.

Достоинством разработанных СППД является то, что для используемых в них формальных систем справедливо утверждение о том, что истинность математического утверждения следует из возможности построения его доказательства. Многие из современных СППД успешно применялись для верификации доказательств сложных математических теорем [1].

Однако существующие СППД до сих пор оказываются невостребованными большинством математиков в их исследованиях. Это подтвердил опубликованный в 2007 г. пересмотренный манифест [10], в котором хотя и подтверждались цели исходного манифеста, но констатировалось, что за время, прошедшее с момента его опубликования, не было сделано существенного продвижения в достижении его целей. Там же указывалась и одна из основных причин такого положения дел: формализованная математика совершенно непохожа на реальную. Исходя из этого, можно заключить, что основное препятствие к широкому использованию СППД состоит в том, что в них используются формальные логические системы, далёкие от представлений математиков, выполняющих такую работу. Формализация математических теорем и их доказательств остаётся для математиков сложным процессом; по-прежнему существует крутая кривая обучения, препятствующая принятию математическим сообществом такого стиля работы с доказательствами [1]. Этот процесс ориентирован на специалистов по математической логике, обладающих знаниями значительной части теории доказательств, теории типов, теории моделей, теории множеств и т.п.

В цикле работ [11–13] для верификации математических доказательств была высказана идея приближения формальной модели, лежащей в основе СППД, к математической практике. В настоящей работе описывается декларативная метамодель для представления формальных логических систем, приближенных к математической практике (связанной с конструированием интуитивных доказательств), и способы использования этой метамодели для описания таких формальных систем. Предлагаемая метамодель ориентирована на разработку и реализацию на её основе программной оболочки для систем верификации интуитивных математических доказательств.

## 1 Концепция оболочки

Как известно, математический диалект и способы математических рассуждений не только не являются фиксированными, явно описанными, но и продолжают развиваться по мере развития математики. Поэтому нет никакой возможности построить такую фиксированную формальную систему, которую можно было бы положить в основу СППД, и “проекция” с языка математического диалекта на которую не была бы чрезвычайно громоздкой и сложно осуществимой для большинства математиков. Тем не менее, во всех известных авторам СППД используются языки с фиксированным синтаксисом для представления математических утверждений и их доказательств, а также фиксированные множества правил рассуждений, что означает невозможность их изменения без внесения соответствующих изменений в код программной системы.

Чтобы иметь возможность приближать формальные логические системы к математической практике, они должны быть расширяемыми. При этом возможность их расширять должны иметь не только разработчики СППД, но прежде всего пользователи таких систем – члены математического сообщества.

Одним из способов обеспечения такой возможности является разработка для них программной оболочки (инструментальной метасистемы), которая позволяла бы создавать прикладные СППД, в основу которых уже положено *ядро* формальной системы, приближенной к математической практике, и предоставляла бы *механизмы расширения* этой системы.

Расширяемыми и изменяемыми должны быть следующие компоненты формальных систем: *язык представления математических знаний*, на котором описываются аксиомы, теоремы, леммы, определения и т.п., и *множество формализованных способов рассуждений*, доступных математику при построении доказательств теорем. Для этого способы рассуждения должны быть представлены явно, а *язык представления формализованных способов рассуждений* также должен быть расширяемым.

Отметим, что данные языки эквивалентны логическому языку высших порядков и не поддерживают графические образы, геометрические построения и интерпретации различных конструкций: коммутативные диаграммы, диаграммы Эйлера-Венна и т.п.

Для обеспечения расширяемости формальных систем при их разработке используется подход, основанный на контекстно-зависимых грамматиках и онтологиях. Расширяемость достигается за счёт того, что контекстно-зависимые грамматики абстрактного синтаксиса языков представления математических знаний и формализованных способов рассуждений имеют в СППД явное декларативное представление, специфицированное в соответствии с метамоделью. Благодаря этому, во-первых, способы рассуждения имеют в СППД явное декларативное представление, и, следовательно, пользователи могут изменять их множество, а также сами способы рассуждений; во-вторых, пользователи имеют возможность включать в грамматику языка представления математических знаний новые правила либо модифицировать существующие. Это же относится и к контекстным условиям.

Заметим, что при открытости для математиков баз способов рассуждений и, соответственно, расширяемости исчисления остаётся открытым вопрос, касающийся теоремы о следствии истинности математического утверждения из его доказуемости. Очевидно, что для такой формальной логической системы справедливость данной теоремы не гарантируется (более того, она оказывается неприменимой к этой формальной системе). Однако эта проблема может быть адресована специалистам по математической логике, задачей которых является исследование и верификация предлагаемых математиками способов рассуждений на метаязыке. В результате анализа среди метаматематических утверждений может быть выделен класс аксиом, а остальные классифицированы либо как требующие доказательства, либо как неверные. Тем самым, доказательства, в которых используются неверные или недоказанные метаматематические утверждения, не могут считаться верными. Общезначимость пропозициональных формул может быть проверена автоматически.

Статья посвящена описанию средств определения формальных логических систем, приближенных к математической практике, – декларативной метамодели, а также использованию этой метамодели *ядра* и *механизмов расширения* формальной системы, которая может быть положена в основу прикладных СППД, создаваемых с использованием оболочки.

Как и всякая формально-логическая модель, описываемая формальная система должна определять формальный язык для представления математических знаний – аксиом, определений, теорем, лемм и других математических утверждений; и исчисление, в котором должны строиться правильные полные доказательства, согласованное с этим языком. Определение исчисления включает в себя определение методов доказательства математических утверждений; способов рассуждений, доступных математику в процессе конструирования доказательств теорем, и формального языка для их представления; модели онтологии доказательств – структуры для представления полных доказательств. Определение формального языка включает определение его онтологии – абстрактного синтаксиса и контекстных условий, а также, возможно, конкретного синтаксиса. Абстрактный синтаксис языка может быть задан порождающей графовой грамматикой; контекстные условия – на специальном языке формул над элементами этой графовой грамматики. Поскольку в математике формулировки различных утверждений и способов рассуждений традиционно записываются в текстовом виде, то конкретным синтаксисом формальных языков в данном случае является текстовый синтаксис. Средством задания текстового синтаксиса языка является порождающая текстовая грамматика, дополняющая соответствующую графовую грамматику необходимыми элементами конкретного синтаксиса. Важно отметить, что на сегодняшний день за рамками работы остаётся практика рассуждений, принятая в современной математике, которая основана на принципе структурализма, а также понятиях изоморфизма, эквивалентности (идентичности) математических объектов [14].

## 2 Средства определения формальных систем

Декларативная метамодель для спецификации формальных систем состоит из языка описания порождающих графовых грамматик, языка описания контекстных условий и языка описания порождающих текстовых грамматик.

### 2.1 Язык описания порождающих графовых грамматик

В работах [15,16] описана орграфовая связная двухуровневая модель информационных единиц. В соответствии с этой моделью различаются два типа орграфов по уровню абстракции представляемой ими информации: орграфы, представляющие метаинформацию, и орграфы, представляющие информацию. Для этой модели предложены языки (нотация)

представления *орграфов метаинформации* и *информации*. Также определены соответствия между этими орграфами и моделью порождения орграфов информации по орграфам метаинформации, сохраняющего это соответствие. Назначение орграфа метаинформации состоит в спецификации абстрактного синтаксиса языка, в терминах которого формируется множество орграфов информации.

Таким образом, орграфы, описывающие абстрактный синтаксис языков представления различных видов знаний и данных, могут рассматриваться как порождающие *графовые грамматики*. Грамматика порождает множество размеченных корневых иерархических бинарных орграфов с возможными петлями и циклами (орграфов информации). Сама грамматика имеет аналогичную форму представления – в виде орграфа, обладающего такими же свойствами (орграфовое представление грамматики далее названо *орграфом грамматики*) [17]. Отличие состоит в разметке: орграф грамматики имеет дополнительную разметку вершин и дуг, задающую семантику правил порождения.

## 2.2 Язык описания контекстных условий

Контекстные условия, проверяемые на орграфах информации, описываются на языке логико-математических формул, которые задаются над той графовой грамматикой, по которой эти орграфы информации порождаются. Контекстное условие имеет название и представляет собой кванторную формулу. Каждая переменная, входящая в формулу, связана некоторым квантором, имеет имя, а область её возможных значений задаётся термом, значением которого является множество вершин орграфа информации.

Выделяются следующие типы формул: равенство и неравенство термов; арифметические отношения над числовыми термами; теоретико-множественные отношения над термами; формулы с пропозициональными связками; кванторные формулы; предикат «*прямой предок*», моделирующий отношение над термами, представляющими вершины орграфа информации.

Выделяются следующие типы термов: термы, представляющие пути в орграфе метаинформации; термы, представляющие арифметические выражения; термы-кванторные конструкции; термы, представляющие операции над множествами; условный терм, моделирующий разветвлённый условный оператор; терм, представляющий конкатенацию строковых или двоичных констант; терм, значением которого является метка вершины орграфа информации; термы, представляющие константы различных типов.

## 2.3 Язык описания порождающих текстовых грамматик

Язык описания порождающих текстовых грамматик согласован с языком описания порождающих графовых грамматик и позволяет специфицировать грамматики в РБНФ<sup>1</sup> подобной нотации, задавать некоторые виды контекстных условий, а также метасимволы форматирования текстов, используемые при их синтезе.

Текстовая грамматика представляет собой описание множества *правил*. Каждое правило состоит из *левой* и *правой части*. Левая часть правила представляет собой ссылку на соответствующую вершину орграфа грамматики, специфицирующего абстрактный синтаксис некоторого языка. Правая часть – последовательность элементов, каждый из которых относится к одному из следующих четырёх типов: элемент конкретного синтаксиса; элемент форматирования; ссылка на соответствующую вершину орграфа грамматики; элемент, позволяющий специфицировать контекстные условия.

<sup>1</sup> *РБНФ* - расширенная Бэкус-Наурова форма (англ. *Extended Backus-Naur Form*) — формальная система определения синтаксиса, в которой одни синтаксические категории последовательно определяются через другие. *Прим. ред.*



Отметим, что в текстовой грамматике необходимо описывать лишь те правила, вид которых должен быть переопределён по сравнению с их видом в графовой грамматике, которой она сопоставлена. В основном это касается тех правил, в правую часть которых должны входить элементы конкретного синтаксиса, элементы форматирования и элементы, позволяющие специфицировать контекстные условия.

### 3 Модель онтологии базы математических знаний

С целью структурированного хранения и накопления математических знаний вводится модель онтологии для представления баз математических знаний, специфицирующая сетевую структуру различных разделов математики.

Каждый раздел математики имеет своё название и может содержать следующие множества: множество определений, позволяющих вводить новые термины для обозначения определяемых понятий, а также задавать значения этих терминов; множество аксиом; множество теорем и лемм, каждая из которых может иметь множество следствий; множество именованных подразделов (см. рисунок 1).

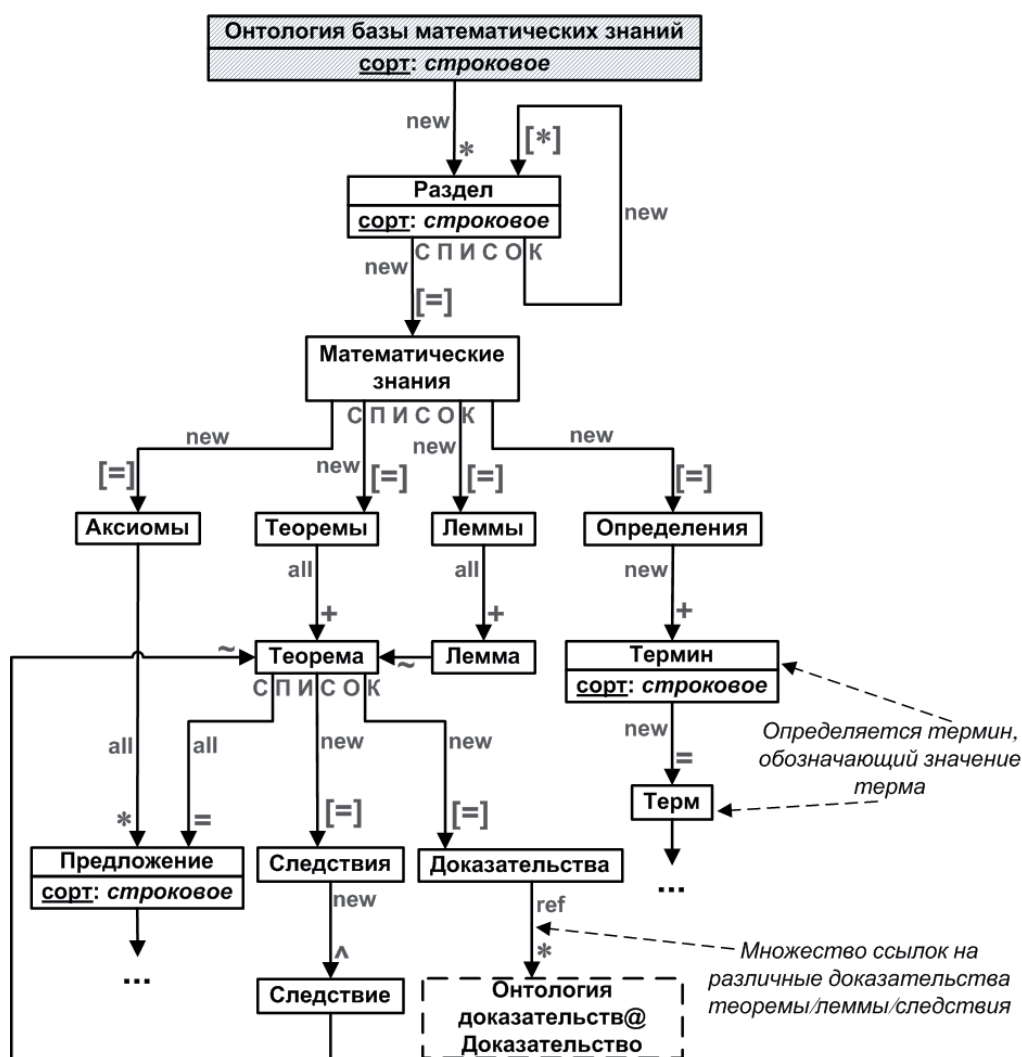


Рисунок 1 – Спецификация структуры разделов математики



Здесь и далее нотация разметки вершин и дуг, изображённых на рисунках орграфов грамматик и орграфов информации, совпадает с нотацией, используемой в [15,16], где подробно описана её семантика.

## 4 Язык представления математических знаний

### 4.1 Ядро языка представления математических утверждений

На рисунке 2 изображен фрагмент порождающей графовой грамматики, описывающей **абстрактный синтаксис** ядра языка представления математических утверждений. Каждое *математическое утверждение (предложение)* представляется вершиной графовой грамматики «Предложение» и имеет вид:  $(v_1: t_1) \dots (v_n: t_n) f$ . Здесь  $f$  – математическая формула, содержащая вхождения предметных переменных  $v_1, \dots, v_n$ , а  $(v_i: t_i)$  ( $i = 0, \dots, n$ ) – описание предметной переменной  $v_i$ ,  $t_i$  – математический терм, значением которого является множество (область возможных значений переменной  $v_i$ ). Математическое утверждение моделирует оборот математического диалекта: «для любых значений  $v_1$  из  $t_1, \dots, v_n$  из  $t_n$  справедлива формула  $f$ ».

Выделяются следующие *типы формул*: равенство и неравенство термов; арифметические отношения над числовыми термами; теоретико-множественные отношения над термами; формулы с пропозициональными связками; кванторные формулы (с конечными и бесконечными областями возможных значений переменных); аппликация предиката.

Выделяются следующие *типы термов*: арифметические термы; различные виды интервалов, а также множеств, которые они образуют; кванторные термы (с конечными и бесконечными областями возможных значений переменных); термы-операции над множествами, а также обозначения некоторых фиксированных множеств; термы, связанные с отображениями; условный терм, моделирующий оборот математического диалекта: «если  $f_1$ , то  $t_1, \dots$  если  $f_n$ , то  $t_n$ ».

Онтология ядра языка представления математических утверждений содержит **контекстные условия**. Они записываются на языке описания контекстных условий, но здесь приводится только их неформальное описание.

Контекстные условия на предметные переменные.

- Для каждого использующего вхождения переменной в тело предложения или тело некоторой кванторной конструкции существует определяющее вхождение этой переменной в префикс этого предложения или этой кванторной конструкции.
- Для каждого определяющего вхождения переменной в префикс предложения или некоторой кванторной конструкции существует использующее вхождение этой переменной в тело этого предложения или тело этой кванторной конструкции.
- Терм, представляющий собой область возможных значений определяемой переменной, не может содержать вхождений этой же самой переменной.

Контекстные условия на соответствие числа формальных и фактических параметров.

Если *аппликация предиката* имеет вид  $\rho(t_1, \dots, t_m)$ , то:

- если  $\rho$  есть *термин*, то в некотором разделе математических знаний секция «определения» должна содержать определение вида  $\rho \equiv \lambda(v_1: tt_1) \dots (v_m: tt_m) f$ , где  $f$  – формула, содержащая вхождения предметных переменных  $v_1, \dots, v_m$ ,  $m \geq 1$ ;
- если же  $\rho$  есть *переменная*, то её описание должно иметь вид  $\rho: tt_1 \times \dots \times tt_m \rightarrow$  *множество логических значений*, если  $m > 1$ , либо  $\rho: tt_1 \rightarrow$  *множество логических значений*, если  $m = 1$ .

Если *аппликация функции* имеет вид  $\rho(t_1, \dots, t_m)$ , то:

- если  $\rho$  есть *термин*, то в некотором разделе математических знаний секция «определения» должна содержать определение вида  $\rho \equiv \lambda(v_1 : tt_1) \dots (v_m : tt_m) t$ , где  $t$  – терм, содержащий вхождения предметных переменных  $v_1, \dots, v_m, m \geq 1$ ;
- если же  $\rho$  есть *переменная*, то её описание должно иметь вид  $\rho : tt_1 \times \dots \times tt_m \rightarrow tt$ , если  $m > 1$ , либо  $\rho : tt_1 \rightarrow tt$ , если  $m = 1$ .

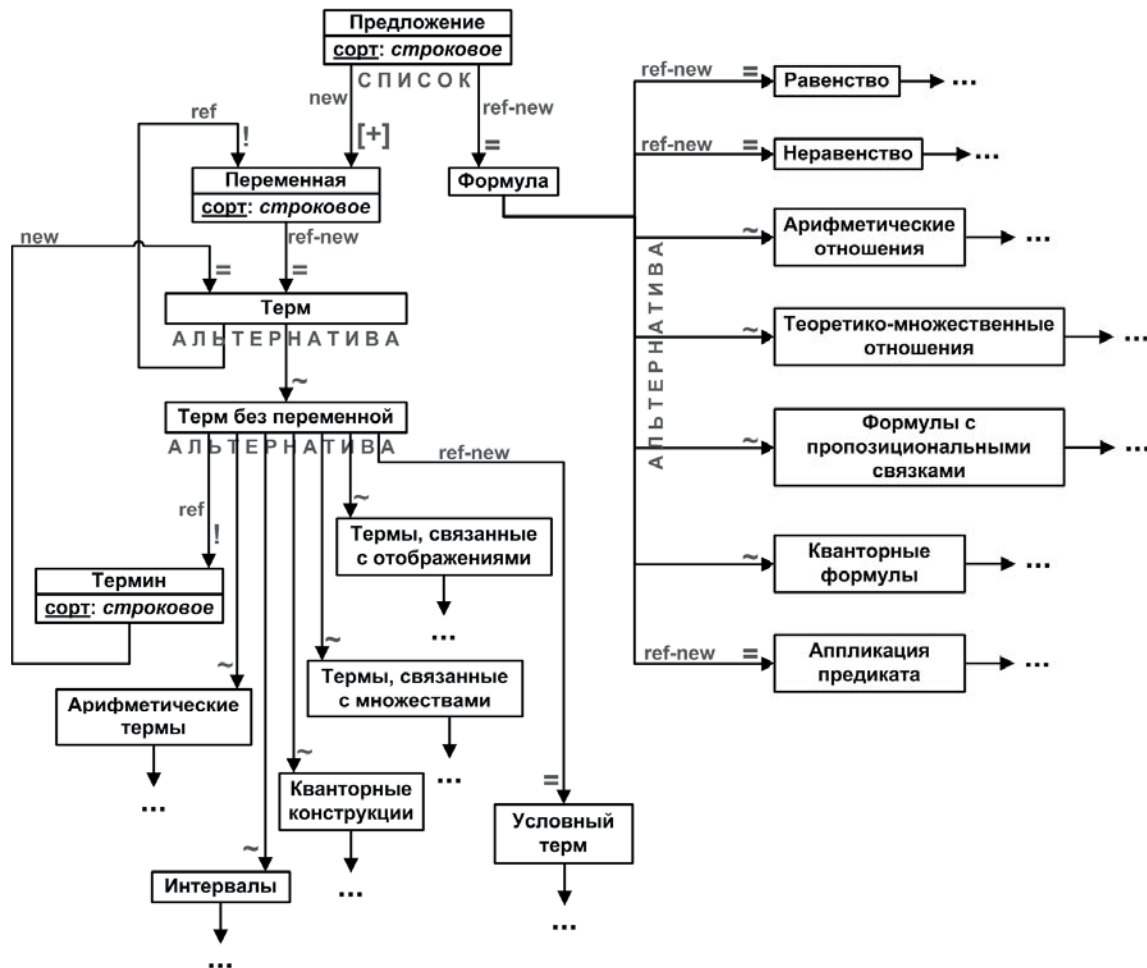


Рисунок 2 – Фрагмент орграфа грамматики, описывающей абстрактный синтаксис языка представления математических утверждений

Текстовая грамматика, описывающая *конкретный синтаксис* ядра языка представления математических утверждений, задаётся на языке описания порождающих текстовых грамматик и содержит **85** правил.

#### 4.2 Механизмы расширения языка представления математических утверждений

*Расширение* языка представления математических утверждений обеспечивается добавлением новых видов термов и формул. Оно состоит в добавлении новой конструкции в орграф грамматики языка, описании абстрактного синтаксиса этой новой конструкции, добавлении нужных правил в текстовую грамматику языка, а также, возможно, описании связанных с новой конструкцией контекстных условий.

## 5 База математических знаний

База математических знаний формируется в соответствии с моделью её онтологии. Приведём примеры определений терминов, входящих в состав математических знаний раздела «Арифметика». Данный раздел входит в **ядро** базы математических знаний. Определения записаны в конкретном синтаксисе языка представления математических утверждений.

- множество натуральных чисел  $= \mathbb{N}[1, \infty)$ .
- множество положительных вещественных чисел  $= \{(x: R) x > 0\}$ .
- множество отрицательных вещественных чисел  $= \{(x: R) x < 0\}$ .

Приведём примеры математических утверждений, входящих в состав математических знаний раздела «Арифметика». Это аксиомы, либо теоремы, имеющие доказательства в рамках определяемой формальной системы.

- Свойство коммутативности умножения:  $(x: R) (y: R) x * y = y * x$ .
- Правило выноса общего множителя за скобки:  $(x: R) (y: R) (z: R) x * y + z * y = (x + z) * y$ .
- Правило приведения к общему знаменателю дроби и числа:  
 $(x: R) (y: R \setminus \{0\}) (z: R) x / y + z = (x + y * z) / y$ .
- Теорема о сумме членов конечного отрезка натурального ряда:  
 $(n: \mathbb{N}[0, \infty)) (\sum(i: \mathbb{N}[0, n]) i) = n * (n + 1) / 2$ .

**Расширение** базы математических знаний состоит в добавлении новых математических знаний – определений, аксиом, теорем и лемм (а также их следствий) в существующие в базе разделы математики; а также в создании новых разделов/подразделов математики и наполнении их соответствующими математическими знаниями.

## 6 Методы доказательств

Исчисление, в рамках которого строятся доказательства, включает методы доказательства *целей*, основанные на трёх правилах. Перед описанием самих правил определим понятия *цель* и *справедливое утверждение*.

*Цель* представляет собой пару: *математическое утверждение* и, возможно, пустой, *список предположений* – множество математических утверждений, из справедливости которых следует справедливость данного утверждения.

Под *справедливым утверждением* будем понимать математическую аксиому, определение, теорему/лемму (а также следствие из неё), для которой уже построено доказательство, либо *способ рассуждения* (см. далее – раздел 7). Определения и аксиомы считаются правильными в силу соглашения между членами математического сообщества.

Далее опишем сами правила вывода исчисления.

**Правило доказательства импликации (естественного вывода)** позволяет свести доказательство цели, *математическое утверждение* которой имеет форму импликации  $f_1 \& \dots \& f_k \Rightarrow f$ , а *список предположений* есть  $p_1, \dots, p_n$  ( $n \geq 0$ ), к доказательству цели, *математическое утверждение* которой есть заключение этой импликации –  $f$ , а *список предположений* есть  $p_1, \dots, p_n, f_1, \dots, f_k$ .

**Правило сопоставления (matching)**. Если  $\varphi$  – справедливое утверждение и существует подстановка  $\theta$  вместо переменных, входящих в  $\varphi$ , такая, что результат применения этой подстановки к  $\varphi$  совпадает с *математическим утверждением*  $f$  доказываемой цели или синтаксически эквивалентен  $f$ , то  $f$  справедливо ( $f$  есть *конкретизация*  $\varphi$ ). *Список предположений* цели в этом случае является пустым. Стоит отметить, что сопоставление представляет собой однонаправленный вариант унификации [18].

**Правило отделения (Modus ponens)**, используемое для декомпозиции цели, декомпозиции некоторого предположения цели, или для вывода.

**Декомпозиция цели.** Если требуется доказать цель, список предположений которой есть  $p_1, \dots, p_n$ , ( $n \geq 0$ ), а математическое утверждение  $f$  может быть сопоставлено с заключением справедливого утверждения, имеющего вид  $\varphi_1 \& \dots \& \varphi_m \Rightarrow \varphi$ , и  $\theta$  – наиболее общий унификатор  $f$  и  $\varphi$ , то это доказательство сводится к доказательству целей, математические утверждения  $f_1, \dots, f_m$  которых являются соответственно результатами применения подстановки  $\theta$  к утверждениям в условии этой импликации  $f_1 = \varphi_1\theta, \dots, f_m = \varphi_m\theta$ , а список предположений каждой цели есть  $p_1, \dots, p_n$ .

**Декомпозиция предположения.** Если требуется доказать цель, математическое утверждение которой есть  $f$ , а список предположений есть  $p_1, \dots, p_i, \dots, p_n$  ( $n \geq 1$ ), и предположение  $p_i$  может быть сопоставлено с правой частью равносильности  $\varphi$  справедливого утверждения, имеющего вид  $\varphi_1 \mid \dots \mid \varphi_m \Leftrightarrow \varphi$  ( $\varphi_1 \vee \dots \vee \varphi_m \Leftrightarrow \varphi$ ), ( $m \geq 2$ ), а  $\theta$  – наиболее общий унификатор  $p_i$  и  $\varphi$ , то это доказательство сводится к доказательству  $m$  целей, у которых математическое утверждение есть  $f$ , а списки предположений суть  $p_1, \dots, pp_1, \dots, p_n$ , где  $pp_1$  является результатом применения подстановки  $\theta$  к  $p_1$ ;  $\dots$ ;  $p_1, \dots, pp_m, \dots, p_n$ , где  $pp_m$  является результатом применения подстановки  $\theta$  к  $\varphi_m$ .

**Вывод**, представляющий собой последовательность шагов вывода. Шаг вывода состоит в следующем. Пусть математическое утверждение  $f_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) является аксиомой, либо определением, либо доказанной теоремой/леммой (или её доказанным следствием), либо утверждением из списка предположений доказываемой цели, либо результатом одного из предыдущих шагов вывода. Тогда если утверждение  $f_1 \& \dots \& f_m$  может быть сопоставлено с условием справедливого утверждения, имеющего вид  $\varphi_1 \& \dots \& \varphi_m \Rightarrow \varphi$ , а  $\theta$  – наиболее общий унификатор  $f_1 \& \dots \& f_m$  и  $\varphi_1 \& \dots \& \varphi_m$ , то верно утверждение  $f$ , являющееся результатом применения подстановки  $\theta$  к  $\varphi$  (результат шага вывода).

Цель считается доказанной, если результатом последнего шага вывода является утверждение, совпадающее с математическим утверждением цели, или синтаксически эквивалентное ему.

В случае декомпозиции цели и в выводе варианты применения **Modus ponens** могут быть обобщены на случай, когда импликация заменена равносильностью.

## 7 Формализованные способы рассуждений

Способы рассуждений, которые используются в методах доказательства, делятся на два класса:

- с опорой на пропозициональные тавтологии, лежащие в основе логических рассуждений;
- с опорой на математические принципы и утверждения о синтаксических преобразованиях математических выражений.

Эти способы рассуждений представлены явно пропозициональными формулами, являющимися тавтологиями, и метаматематическими утверждениями соответственно. Метаматематические утверждения считаются правильными, если их достоверность установлена на основе интуитивного или конвенционального (в результате соглашения между членами математического сообщества) критерия. Таким образом, доказательство считается правильным, если признается справедливость всех используемых в нем метаматематических утверждений.

Далее описываются язык представления пропозициональных тавтологий, язык представления метаматематических утверждений, а также способы рассуждений, входящие в ядро базы формализованных способов рассуждений, и способы расширения последней.

### 7.1 Язык представления пропозициональных тавтологий

Порождающая графовая грамматика, описывающая *абстрактный синтаксис* языка представления пропозициональных тавтологий, изображена на рисунке 3. Каждая *пропозициональная тавтология* представляется вершиной графовой грамматики «Тавтология» и имеет вид:  $v_1 \dots v_n pf$ , где  $pf$  – пропозициональная формула, содержащая вхождения пропозициональных переменных  $v_1, \dots, v_n$ , а  $v_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – описание пропозициональной переменной  $v_i$ ,  $n \geq 1$ . Значением пропозициональной переменной может быть одна из логических констант – *истина* или *ложь*.

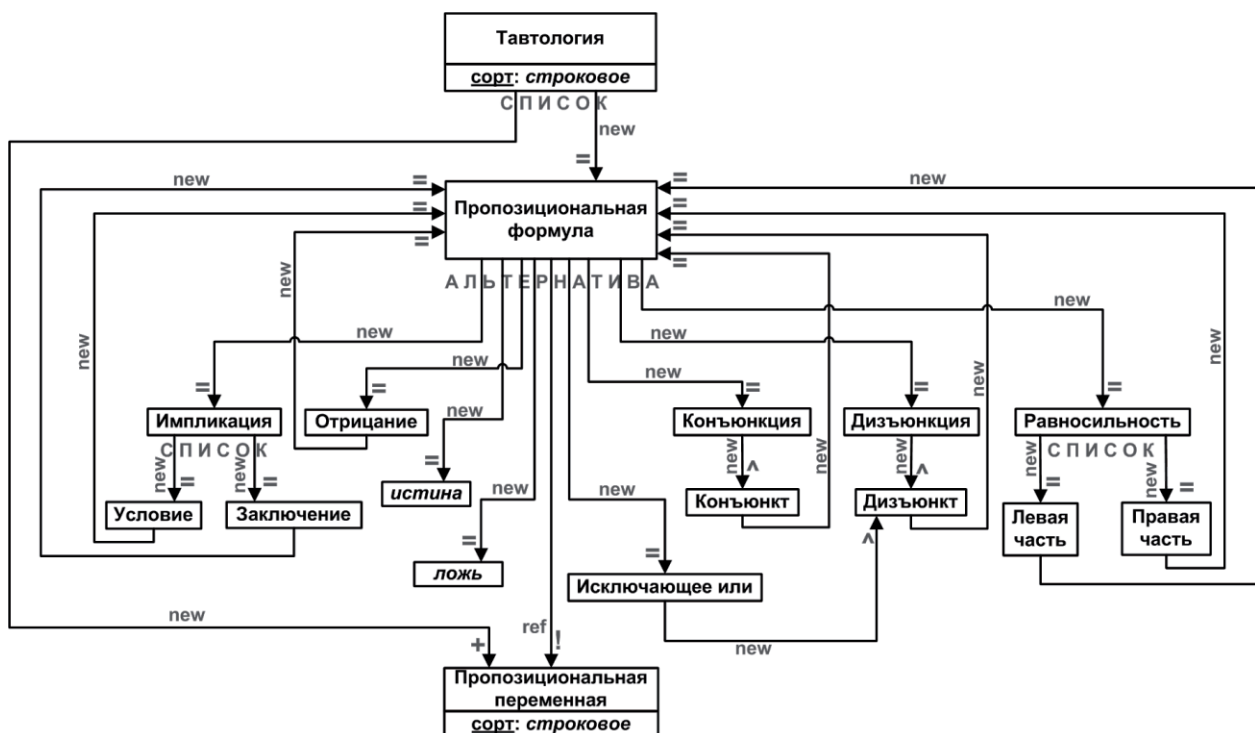


Рисунок 3 – Орграф грамматики, описывающей абстрактный синтаксис языка представления пропозициональных тавтологий

Для языка представления пропозициональных тавтологий формулируются следующие *контекстные условия* на пропозициональные переменные.

- Для каждого использующего вхождение переменной в пропозициональную формулу существует определяющее вхождение этой переменной в префикс этой формулы.
- Наоборот, для каждого определяющего вхождения переменной в префикс формулы существует использующее вхождение этой переменной в эту формулу.

Фрагмент порождающей текстовой грамматики, описывающей *конкретный синтаксис* языка представления пропозициональных тавтологий, изображен (в виде орграфа информации) на рисунке 4. Всего грамматика содержит **8** правил.



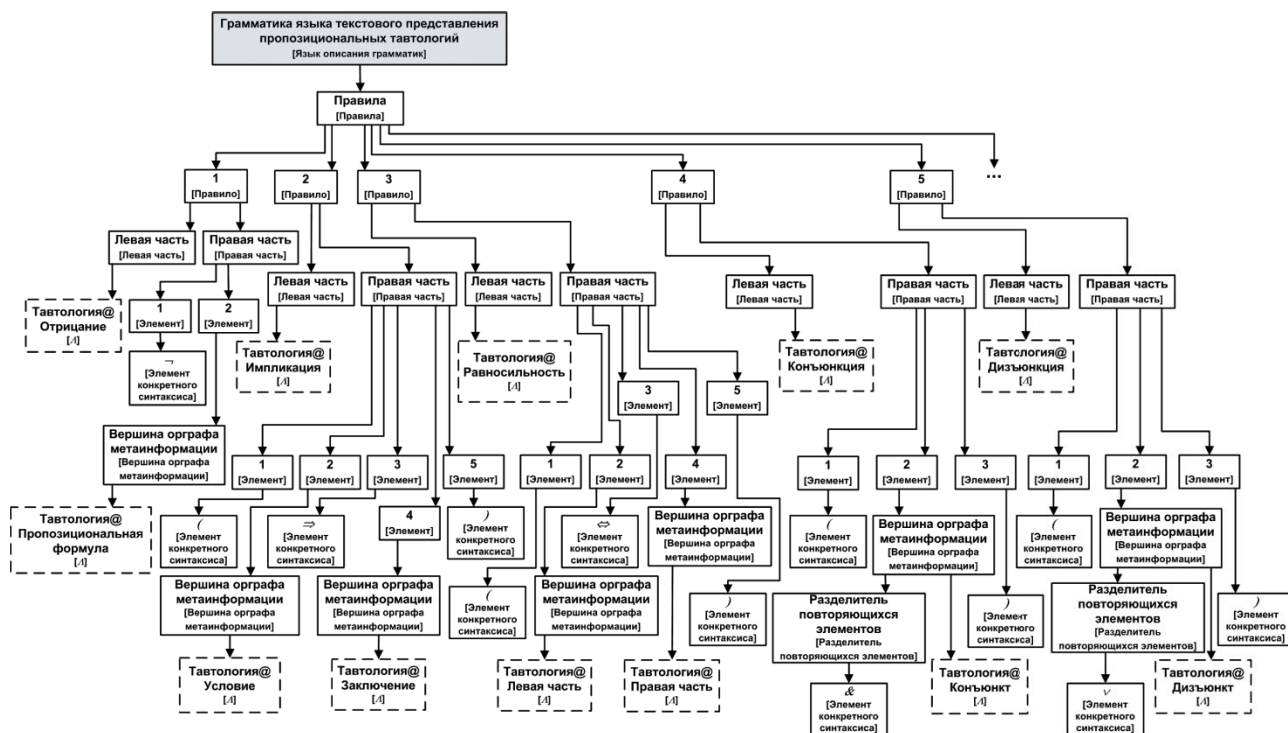


Рисунок 4 – Фрагмент орграфа информации, специфицирующего грамматику, описывающую конкретный синтаксис языка представления пропозициональных тавтологий

## 7.2 Язык представления метаматематических утверждений

В данном разделе описываются ядро языка представления метаматематических утверждений и механизмы его расширения.

### 7.2.1 Ядро языка представления метаматематических утверждений

Порождающая графовая грамматика, описывающая **абстрактный синтаксис** ядра языка представления метаматематических утверждений (*метаязыка*), изображена на рисунке 5.

Каждое *метаматематическое утверждение (предложение)* представляется вершиной графовой грамматики «*Метаматематическое предложение*» и имеет вид:  $(v_1: t_1) \dots (v_n: t_n) t_1 \dots t_k f_1 \dots f_s i_1 \dots i_p r_1 \dots r_q f$ . Здесь  $f$  – математическая формула, содержащая вхождения предметных переменных  $v_1, \dots, v_n$ , а также вхождения синтаксических переменных  $t_1, \dots, t_k$  типа  $t$ , синтаксических переменных  $f_1, \dots, f_s$  типа  $f$ , синтаксических переменных  $i_1, \dots, i_p$  типа  $i$  и синтаксических переменных  $r_1, \dots, r_q$  типа  $r$ . При этом  $(v_i: t_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – описание предметной переменной  $v_i$ ,  $t_i$  – математический терм, значением которого является множество (область возможных значений предметной переменной  $v_i$ );  $t_1 \dots t_k$  – описания синтаксических переменных типа  $t$  ( $k \geq 0$ ), значениями которых являются термы;  $f_1 \dots f_s$  – описания синтаксических переменных типа  $f$  ( $s \geq 0$ ), значениями которых являются формулы;  $i_1 \dots i_p$  – описания синтаксических переменных типа  $i$  ( $p \geq 0$ ), значениями которых являются целочисленные константы;  $r_1 \dots r_q$  – описания синтаксических переменных типа  $r$  ( $q \geq 0$ ), значениями которых являются вещественные константы; где  $k + s + p + q > 0$ .

Метаязык является надстройкой над языком представления математических утверждений и получается расширением конструкций «формула» и «терм» этого языка. Конструкция «формула» расширяется путем добавления двух альтернатив: «синтаксическая переменная типа  $f$ » и «модифицированная синтаксическая переменная типа  $f$ ». Конструкция «терм»

расширяется путем добавления четырех альтернатив: «синтаксическая переменная типа  $i$ », «синтаксическая переменная типа  $r$ », «синтаксическая переменная типа  $t$ » и «модифицированная синтаксическая переменная типа  $t$ ».

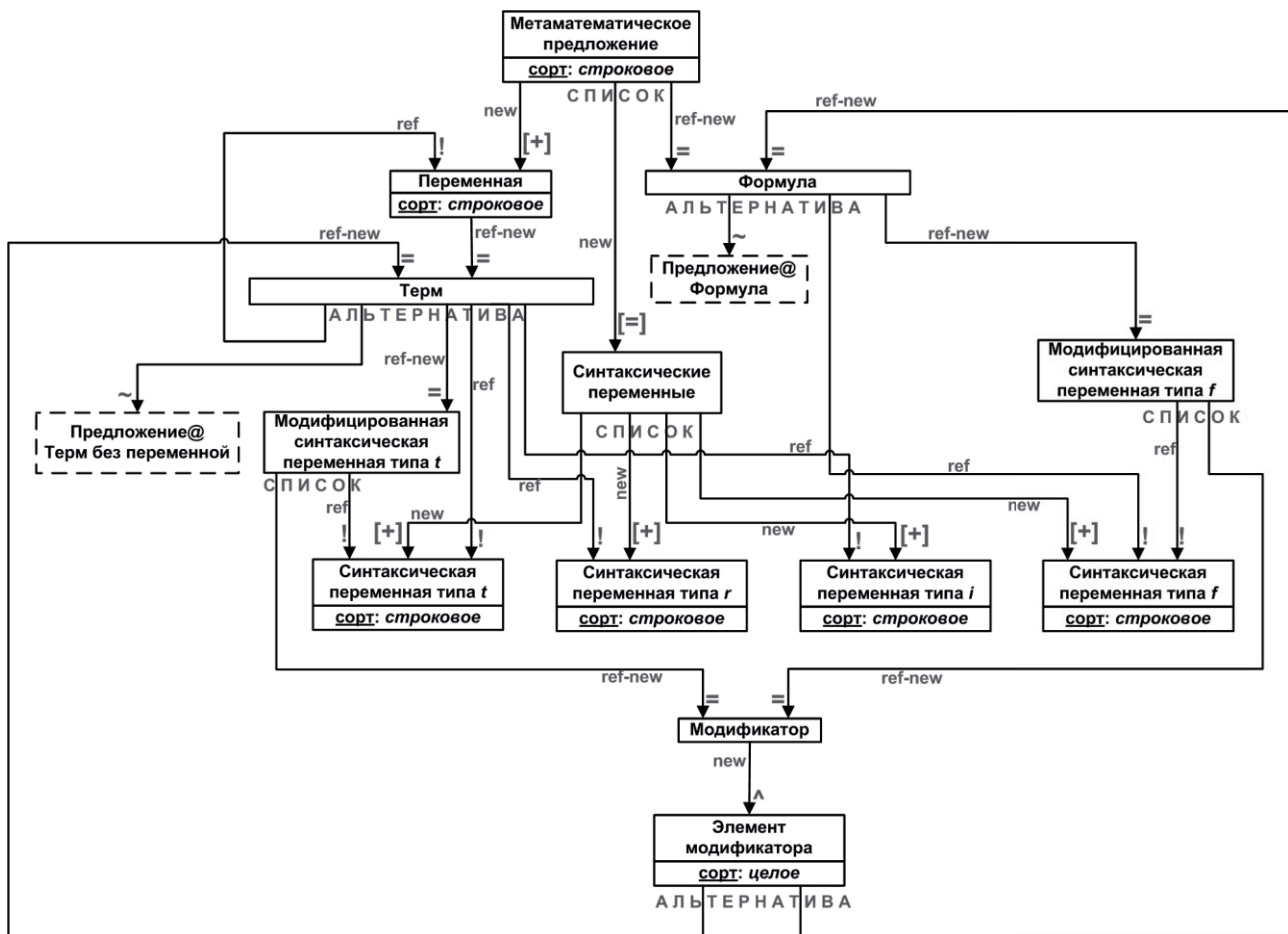


Рисунок 5 – Орграф грамматики, описывающей абстрактный синтаксис языка представления метаматематических утверждений

Модифицированная синтаксическая переменная кроме названия содержит модификатор. Она является термом или формулой в зависимости от её типа. Модификатор состоит из элементов модификатора, каждый из которых может быть термом или формулой. Значением такой синтаксической переменной является синтаксическая конструкция, соответствующая типу синтаксической переменной, но содержащая формальные параметры. Каждому элементу модификатора соответствует свой формальный параметр, который может входить в значение синтаксической переменной один или более раз. Элементы модификаторов с одним порядковым номером в разных вхождениях модифицированной синтаксической переменной в одно и то же метаматематическое утверждение соответствуют одному и тому же формальному параметру. Сами элементы модификатора являются фактическими параметрами. Значением вхождения модифицированной синтаксической переменной в метаматематическое утверждение является значение этой синтаксической переменной, в котором все формальные параметры заменены фактическими.

Метаматематические утверждения считаются справедливыми при любых допустимых значениях синтаксических (в том числе и модифицированных) переменных.

Для ядра языка представления метаматематических утверждений формулируются следующие **контекстные условия** на синтаксические переменные.

- В каждое метаматематическое утверждение должна входить хотя бы одна синтаксическая переменная.
- Для каждого использующего вхождение синтаксической переменной в терм или формулу метаматематического предложения существует определяющее вхождение этой переменной в префикс этого предложения.
- Для каждого определяющего вхождения синтаксической переменной в префикс метаматематического предложения существует использующее вхождение этой переменной в терм или формулу этого предложения.
- Модификатор модифицированной синтаксической переменной не может содержать как непосредственных, так и опосредованных вхождений этой же самой синтаксической переменной.
- Синтаксическая переменная может входить в метаматематическое утверждение либо немодифицированной, либо модифицированной (и то, и другое одновременно исключено).
- Если синтаксическая переменная является модифицированной, то она должна входить в метаматематическое утверждение не менее двух раз.
- Число элементов модификатора во всех вхождениях одной и той же модифицированной синтаксической переменной в метаматематическое утверждение одно и то же, причём на соответствующих местах в модификаторе должны находиться либо термы, либо формулы.

Текстовая грамматика, описывающая *конкретный синтаксис* ядра языка представления метаматематических утверждений, содержит правила, относящиеся к представлению в текстовом виде немодифицированных и модифицированных синтаксических переменных.

### 7.2.2 Механизмы расширения языка представления метаматематических утверждений

Определение метаязыка как надстройки над языком представления математических утверждений (т.е. как его *надъязыка*) является достаточным условием для того, чтобы метаязык *расширялся автоматически* при расширении языка представления математических знаний. Это справедливо в силу способа определения конструкций «Формула» и «Терм» метаязыка – через одноимённые конструкции языка представления математических знаний, которые расширены соответствующими синтаксическими переменными (см. рисунок 5), а также за счёт соблюдения первого контекстного условия на синтаксические переменные. Таким образом, расширение этих двух языков происходит *одновременно*.

### 7.3 База формализованных способов рассуждений

База формализованных способов рассуждений состоит из множества способов рассуждений, моделируемых пропозициональными тавтологиями, и множества способов рассуждений, моделируемых метаматематическими утверждениями. В *ядро* базы входят следующие пропозициональные тавтологии.

- Декомпозиция равносильности:  $(v_1 \Leftrightarrow v_2) \Leftrightarrow (v_1 \Rightarrow v_2) \& (v_2 \Rightarrow v_1)$ .
- Транзитивность равносильности:  $(v_1 \Leftrightarrow v_2) \& (v_3 \Leftrightarrow v_2) \Rightarrow (v_1 \Leftrightarrow v_3)$ .
- Доказательство от противного:  $(\neg v \Rightarrow \text{ложь}) \Rightarrow v$ .
- Доказательство противоречия:  $(\neg v \& v) \Rightarrow \text{ложь}$ .
- Редукция импликации:  $((v_1 \& v_2) \Rightarrow v_3) \& v_1 \Rightarrow (v_2 \Rightarrow v_3)$ .

В *ядро* базы формализованных способов рассуждений входят следующие метаматематические утверждения (аксиомы). Имена синтаксических переменных выделены *полужирным* начертанием, а элементы модификатора заключены в специальные скобки “ $\ulcorner$ ” и “ $\urcorner$ ”.

- Рефлексивность равенства:  $t_1 = t_1$ .
- Симметричность равенства:  $(t_1 = t_2) \Leftrightarrow (t_2 = t_1)$ .
- Транзитивность равенства:  $((t_1 = t_2) \& (t_2 = t_3)) \Rightarrow (t_1 = t_3)$ .
- Принцип замены равных термов в формуле:  $(t_1 = t_2) \& f \vdash t_1 \vdash \Rightarrow f \vdash t_2 \vdash$ .
- Принцип замены равносильных формул в формуле:  $(f_1 \Leftrightarrow f_2) \& f \vdash f_1 \vdash \Rightarrow f \vdash f_2 \vdash$ .
- Одна из форм принципа полной математической индукции:  
 $(v_1: I[0, \infty]) (v_2: I[0, v_1]) f \vdash 0 \vdash \& (f \vdash v_2 \vdash \Rightarrow f \vdash v_2 + 1 \vdash) \Rightarrow f \vdash v_1 \vdash$ .

Кроме перечисленных, в ядро базы входят также метаматематические утверждения (аксиомы), моделирующие свойства различных кванторов, присутствующих в языке представления математических знаний.

**Расширение** базы формализованных способов рассуждений состоит в расширении множества пропозициональных тавтологий и/или множества метаматематических утверждений.

Множество пропозициональных тавтологий является *расширяемым* за счёт возможности формулировать новые пропозициональные формулы, которые в случае успешной автоматической проверки их общезначимости добавляются в это множество.

Множество метаматематических утверждений является *расширяемым* за счёт возможности формулировать новые утверждения, которые включаются в это множество. В частности, нужно заметить, что если в язык представления математических знаний добавляются новые кванторы, то становится необходимым добавление метаматематических утверждений о свойствах этих кванторов.

## 8 Модель онтологии полных доказательств

Полное доказательство является синтаксической структурой, которая представляет собой множество связанных определенным образом *целей*. Первой целью является доказываемая *теорема/лемма*, у которой список предположений отсутствует. С каждой целью связан *метод её доказательства*. Множество допустимых методов доказательства цели является несобственным подмножеством множества методов, описанных в разделе 6. Число методов в нём может варьироваться от трёх до пяти – в зависимости от синтаксической формы утверждения цели (имеет ли оно форму импликации или нет) и наличия или отсутствия у неё предположений. Синтаксическая структура каждого метода доказательства основана на его семантике (см. раздел 6). В случае использования правила **Modus ponens** для *декомпозиции цели* или *вывода* учитывается вид *справедливого утверждения* – импликация или равносильность – и правила выбора значений для посылок.

Синтаксическая структура полного доказательства положена в основу декларативного описания модели онтологии доказательств теорем. Орграф грамматики, представляющий собой спецификацию модели онтологии, представлен на рисунках 6–9.

### Заключение

В работе представлена концепция программной оболочки для систем верификации интуитивных математических доказательств и рассмотрена декларативная метамодель для спецификации формальных логических систем, которые могут быть положены в основу такой оболочки.

С использованием этой метамодели специфицировано ядро формальной системы, приближенной к математической практике конструирования интуитивных математических доказательств, и предложены механизмы её расширения.

Разработаны и явно представлены декларативные спецификации расширяемых языков для представления математических знаний и формализованных способов рассуждений, а также модели полных доказательств. Язык представления формализованных способов рассуждений состоит из двух подязыков: языка представления пропозициональных тавтологий и метаязыка. На первом из них представляются правила логических рассуждений, на втором – свойства логических и нелогических кванторов, а также логических и нелогических принципов.

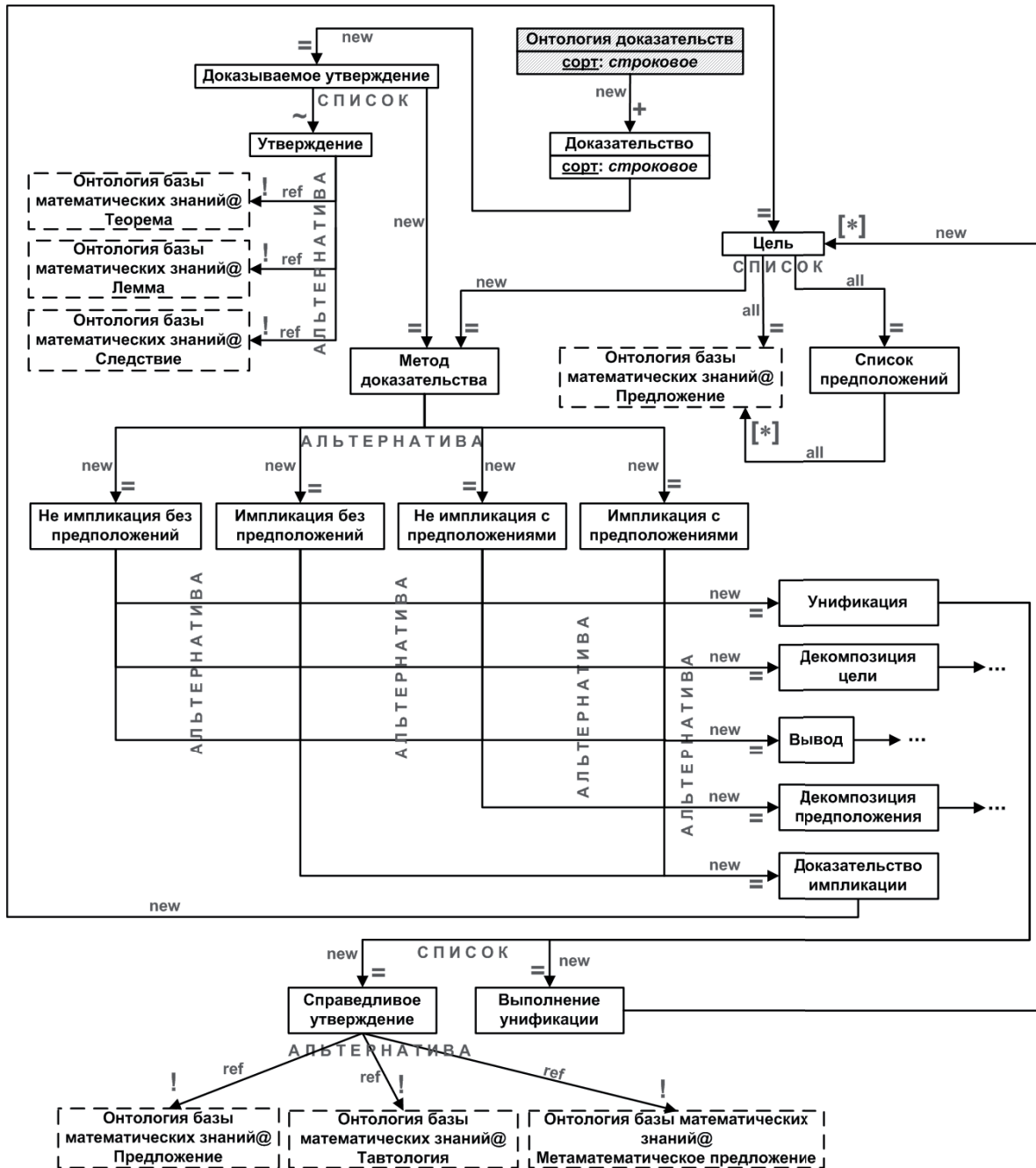


Рисунок 6 – Фрагмент орграфа грамматики, представляющего модель онтологии доказательств



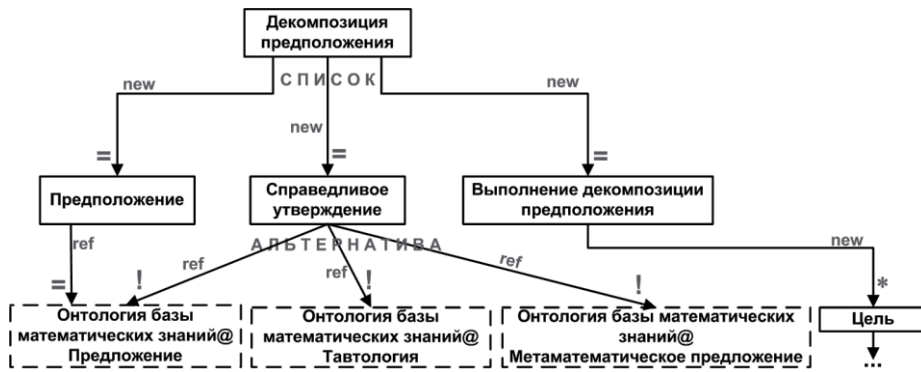


Рисунок 7 – Фрагмент орграфа грамматики, представляющего модель онтологии доказательств.  
Декомпозиция предположения

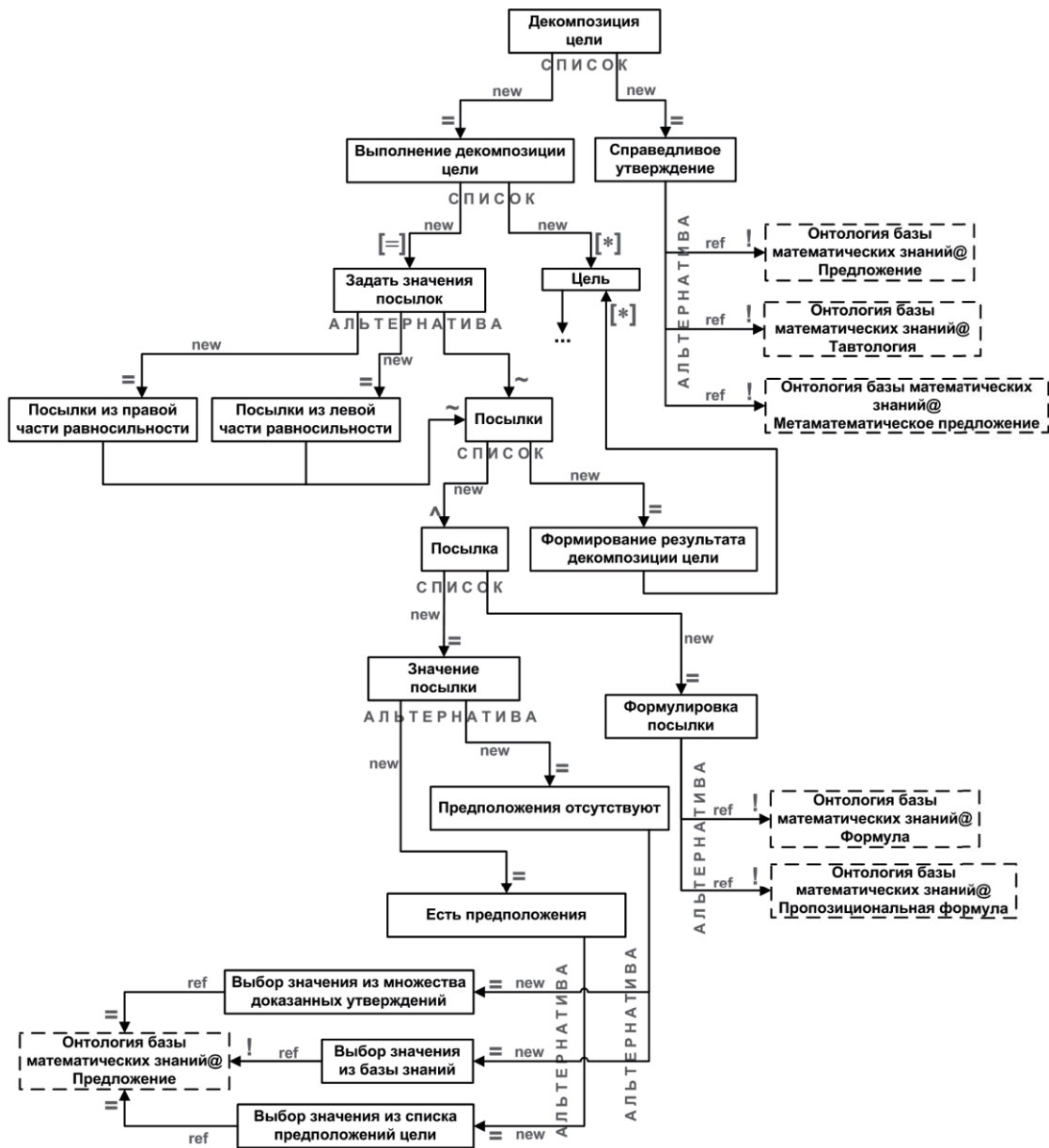


Рисунок 8 – Фрагмент орграфа грамматики, представляющего модель онтологии доказательств.  
Декомпозиция цели

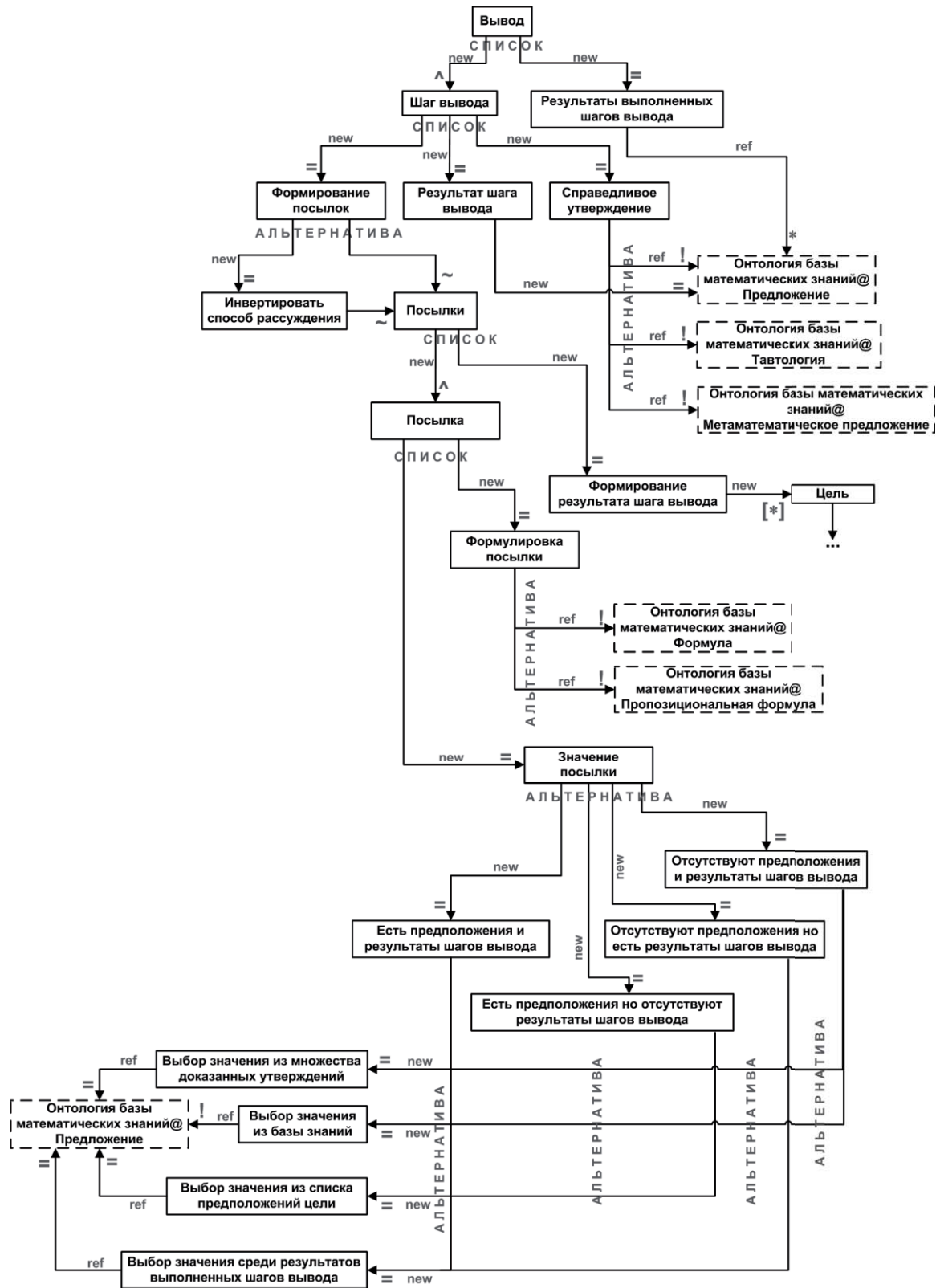


Рисунок 9 – Фрагмент орграфа грамматики, представляющего модель онтологии доказательств.  
Вывод

Средства расширения имеют только язык представления математических знаний. Мета-язык, надстроенный над ним, в силу способа определения расширяется автоматически при

его расширении. Язык представления пропозициональных тавтологий расширяемым не является. Расширяемость языка представления математических знаний обеспечивается расширяемостью множества определений, позволяющих вводить новые термины для обозначения определяемых понятий (*внутренние* средства расширения), а также расширяемостью его грамматики (*внешние* средства расширения). Расширяемость грамматики достигается благодаря средствам, позволяющим описать синтаксис новых конструкций языка представления математических утверждений, а также, при необходимости, контекстные условия. Исчисление, в рамках которого строятся доказательства, представлено явно и является расширяемым.

Полученные в ходе исследований результаты могут быть использованы в проекте по разработке QED<sup>2</sup>-системы и в проектах управляемых интерактивных СППД теорем, являющихся приближениями к этому проекту.

### Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты 16-07-00340, 17-07-00299 и 18-07-01079).

### Список источников

- [1] *Maric, F.* A Survey of Interactive Theorem Proving / F. Maric // Zbornik Radova, 2015, 18(26). - P.173-223.
- [2] *Мендельсон, Э.* Введение в математическую логику / Э. Мендельсон. – М.: Наука, 1976. – 320 с.
- [3] *Avigad, J.* Formally verified mathematics / J. Avigad, J. Harrison // Commun. ACM 57(4), 2014. - P.66-75. - DOI: 10.1145/2591012.
- [4] *Grcar, J.F.* Errors and corrections in the mathematical literature / J.F. Grcar // Notices Am. Math. Soc., 60(4), 2013. - P.418-432. - DOI: 10.1090/noti988.
- [5] The QED Manifesto // Automated Deduction, Springer-Verlag, Lecture Notes in Artificial Intelligence. 1994. Vol. 814. - P.238-251. – <http://www.cs.ru.nl/~freek/qed/qed.html>.
- [6] *Asperti A.* A Survey on Interactive Theorem Proving. 2009. – <http://www.cs.unibo.it/~asperti/SLIDES/itp.pdf>.
- [7] *Harrison, J.* History of Interactive Theorem Proving / J. Harrison, J. Urban, F. Wiedijk // In Jörg Siekmann (ed.), Handbook of the History of Logic, 2014, vol. 9: Computational Logic. Elsevier. - P.135-214.
- [8] *Obua, S.* ProofPeer – A Cloud-based Interactive Theorem Proving System. 2012. - <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.0540.pdf>.
- [9] *Рязанов, А.Е.* Система Буцефал: комбинирование дедуктивных процедур и описание стратегий поиска доказательств / А.Е. Рязанов. – Новосибирск, 1998. Препр./ Сиб. Отд-ние РАН. ИСИ; №50 – 42 с.
- [10] *Wiedijk, F.* The QED Manifesto Revisited / F. Wiedijk // Studies in Logic, Grammar and Rhetoric. 2007. Vol. 10. -P.121-133. – <http://mizar.org/trybulec65/8.pdf>.
- [11] *Гаврилова, Т.Л.* Внутренняя модель математической практики для систем автоматизированного конструирования доказательств теорем. Ч.1. Общее описание модели / Т.Л. Гаврилова, А.С. Клещев // Проблемы управления. - 2006. - №4. - С.32-35.
- [12] *Гаврилова, Т.Л.* Внутренняя модель математической практики для систем автоматизированного конструирования доказательств теорем. Ч.2. Модель математического диалекта / Т.Л. Гаврилова, А.С. Клещев // Проблемы управления. - 2006. - №5. - С.68-73.
- [13] *Гаврилова, Т.Л.* Внутренняя модель математической практики для систем автоматизированного конструирования доказательств теорем. Ч.3. Модель доказательства / Т.Л. Гаврилова, А.С. Клещев // Проблемы управления. - 2006. - №6. - С.69-71.
- [14] Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics. The Univalent Foundations Program, Institute for Advanced Study, 2013. – <http://homotopytypetheory.org/book>.
- [15] *Gribova, V.V.* A Two-level Model of Information Units with Complex Structure that Correspond to the Questioning Metaphor / V.V. Gribova, A.S. Kleshchev, F.M. Moskalenko, V.A. Timchenko // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49. No.5. - P.172-181.
- [16] *Gribova, V.V.* A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two-Level Model of Information Units with a Complex Structure / V.V. Gribova, A.S. Kleshchev,

<sup>2</sup> QED - аббревиатура от лат. *quod erat demonstrandum* - «что и требовалось доказать». Прим. ред.

F.M. Moskalenko, V.A. Timchenko // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49, No.6. - P.221-231.

- [17] **Грибова, В.В.** Управляемая графовыми грамматиками разработка оболочек интеллектуальных сервисов на облачной платформе IACaaS / В.В. Грибова, А.С. Клещев, Ф.М. Москаленко, В.А. Тимченко, Л.А. Федорищев, Е.А. Шалфеева // Программная инженерия. - 2017. Т.8, №10. - С.435-447.
- [18] **Knight, K.** Unification: A Multidisciplinary Survey / K. Knight // ACM Computing Surveys, 1989, 21(1). - P.93-124.
- 

## THEORETICAL FOUNDATIONS FOR CREATION OF A SHELL FOR INTERACTIVE SYSTEMS OF INTUITIVE MATHEMATICAL PROOFS' VERIFICATION

A.S. Kleshev<sup>1</sup>, V.A. Timchenko<sup>2</sup>

*Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok, Russia*

<sup>1</sup>kleshev@iacp.dvo.ru, <sup>2</sup>vadim@dvo.ru

### Abstract

The article presents a concept of a shell for interactive systems of intuitive mathematical proofs. The means of specifying formal systems that can be used as theoretical foundations for this shell are considered: the languages for description of generative graph and text grammars, as well as the language for context conditions description. These languages allow defining context-dependent graph grammars with a specific syntax. With the use of these means, the kernel of a formal logical system that is connected to the mathematical practice of proofs' constructing is specified. The model of ontology for representation of the bases of formalized mathematical knowledge and methods of reasoning is described. This model includes the specification of the network structure of various sections of mathematics, as well as the specification of generative graph grammars describing the abstract syntax of the languages for mathematical statements (knowledge) and methods of reasoning representation. The context conditions of these languages are also defined. The common syntactic structure of proofs and the model of ontology of proofs, developed on its basis, are considered. We apply the approach based on context-dependent grammars and ontologies. It consists in the development of an explicitly presented declarative specification of the language for mathematical knowledge and methods of reasoning (the language of a mathematical dialect) representation, as well as a model of proof. The key feature of the language is its extensibility, which is provided by the extensibility of a set of definitions that allow us to introduce new terms to denote the defined concepts and the extensibility of its grammar. The extensibility of grammar is achieved thanks to the means that allow one to describe the syntax of each new construction of the language for mathematical statements' representation, as well as the context conditions.

**Key words:** *verification of intuitive proofs, logical calculus, graph grammars, formalized reasoning methods base, mathematical knowledge base, model of proofs.*

**Citation:** *Kleshev AS, Timchenko VA. Theoretical foundations of the shell for interactive systems of intuitive mathematical proofs verification [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 219-239. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-219-239.*

### Acknowledgment

The work was partially supported by the RFBR (projects 16-07-00340, 17-07-00299 and 18-07-01079).

### References

- [1] **Maric F.** A Survey of Interactive Theorem Proving. *Zbornik Radova* 2015; 18(26): 173-223.
- [2] **Mendelson E.** Introduction to mathematical logic [In Russian]. - Moscow: Nauka; 1976. – 320 p.
- [3] **Avigad J, Harrison J.** Formally verified mathematics. *Commun. ACM* 2014; 57(4): 66-75. - DOI: 10.1145/2591012.
- [4] **Grcar JF.** Errors and corrections in the mathematical literature. *Notices Am. Math. Soc.* 2013; 60(4): 418-432. - DOI: 10.1090/noti988.

- [5] The QED Manifesto. Automated Deduction, Springer-Verlag, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1994; 814: 238-251. - <http://www.cs.ru.nl/~freek/qed/qed.html>.
- [6] *Asperti A.* A Survey on Interactive Theorem Proving. 2009. - <http://www.cs.unibo.it/~asperti/SLIDES/itp.pdf>.
- [7] *Harrison J, Urban J, Wiedijk F.* History of Interactive Theorem Proving. In Jörg Siekmann (ed.), Handbook of the History of Logic, Computational Logic. Elsevier; 2014; 9: 135-214.
- [8] *Obua S.* ProofPeer – A Cloud-based Interactive Theorem Proving System. 2012. - <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.0540.pdf>.
- [9] *Ryazanov AE.* System butsephalas: defining proof-search strategies and combining deductive procedures [In Russian]. Novosibirsk: Prepr. / Sib. Branch of the RAS. IIS; 1998; 50: 42.
- [10] *Wiedijk F.* The QED Manifesto Revisited. Studies in Logic, Grammar and Rhetoric 2007; 10: 121-133. - <http://mizar.org/trybulec65/8.pdf>.
- [11] *Gavrilova TL, Kleschev AS.* An internal model of mathematical practice for systems of theorem provings automatized construction. Part 1. General description of the model [In Russian]. Control Sciences 2006; 4: 32-35.
- [12] *Gavrilova TL, Kleschev AS.* An internal model of mathematical practice for systems of theorem provings automatized construction. Part 2. A model of mathematical dialect [In Russian]. Control Sciences 2006; 5: 68-73.
- [13] *Gavrilova TL, Kleschev AS.* An internal model of mathematical practice for systems of theorem provings automatized construction. Part 3. A model of proof [In Russian]. Control Sciences 2006; 6: 69-71.
- [14] Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics. The Univalent Foundations Program, Institute for Advanced Study; 2013. - <http://homotopytypetheory.org/book>.
- [15] *Gribova VV, Kleschev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA.* A Two-level Model of Information Units with Complex Structure that Correspond to the Questioning Metaphor. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics 2015; 49(5): 172-181.
- [16] *Gribova VV, Kleschev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA.* A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two-Level Model of Information Units with a Complex Structure. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics 2015; 49(6): 221-231.
- [17] *Gribova VV, Kleschev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA, Fedorishchev LA, Shalfeyeva EA.* A Graph Grammar Managed Development of Intelligent Service Shells on the IACPaaS Cloud Platform [In Russian]. Software Engineering 2017; 10: 435-447.
- [18] *Knight K.* Unification: A Multidisciplinary Survey. ACM Computing Surveys 1989; 21(1): 93-124.

## Сведения об авторах



*Клещев Александр Сергеевич*, 1940 г. рождения. Окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1964 г., д.ф.-м.н. (1990). Главный научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ. В списке научных трудов более 300 работ в области искусственного интеллекта, информатики, медицинской и биологической кибернетики.

*Alexander Sergeevich Kleschev* (b. 1940) graduated from the Leningrad State University in 1964, Professor's degree (1990). He is Chief Researcher at laboratory of intelligent systems in the Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, professor, Honored Scientist of Russian Federation. He is co-author of more than 300 publications in the field of biological and medical cybernetics, informatics and AI.



*Тимченко Вадим Андреевич*, 1983 г.р. Окончил Институт математики и компьютерных наук Дальневосточного государственного университета (2005), к.т.н. (2011). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. В списке научных трудов более 50 работ в области искусственного интеллекта, проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях, специализированных программных моделей и систем.

*Vadim Andreevich Timchenko* (b. 1983) graduated from the Far Eastern State University (Vladivostok-city) on a speciality «Mathematical support and administration of the informative systems» (2005), Ph.D. (2011). He is Senior Researcher at laboratory of intelligent systems in the Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS. He is co-author of more than 50

publications in the field of AI, informatics, program models, technologies and systems.



УДК 004.04

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

А.И. Водяхо<sup>1</sup>, В.В. Никифоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия  
aivodyaho@mail.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург, Россия  
nik@iiias.spb.su

### Аннотация

Современный этап развития информационных технологий характеризуется ужесточением требований, предъявляемых к эффективности функционирования создаваемых информационных систем, к стоимости и срокам их разработки, а также к уровню их «интеллекта». Действенным средством решения этих задач является использование онтологических моделей на всех этапах жизненного цикла информационных систем. В значительной части создаваемые информационные системы являются системами реального времени. Для систем реального времени специфическим является архитектурный этап проектирования. На этом этапе предлагается использование архитектурных онтологических моделей, которые позволяют реализовывать систему поддержки принятия архитектурных решений и накопления архитектурного знания. Рассматривается структура архитектурной онтологической модели, выделяются три уровня этой модели. Рассматривается состав знаний, который должен быть включен в ядро модели. Встроенные онтологические модели в системах реального времени могут быть использованы при реализации функций, связанных с реализацией когнитивного поведения. Делается вывод о целесообразности интегрирования рассматриваемой архитектурной онтологической модели в широко используемый архитектурный фреймворк Захмана.

**Ключевые слова:** онтология, фреймворк Захмана, проектирование, системы реального времени.

**Цитирование:** Водяхо, А.И. Онтологические модели для систем реального времени / А.И. Водяхо, В.В. Никифоров // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2 (28). – С.240-252. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-240-252.

### Введение

Современный этап развития информационных технологий (ИТ) характеризуется постоянным увеличением сложности и расширением сферы применения информационных систем (ИС), повышением требований к быстродействию. Значительная часть создаваемых ИС относится к системам реального времени (СРВ). СРВ – это один из важных подклассов ИС, который можно определить как ИС, относящиеся к определённому домену требований, т.е. ИС, объединенные общностью требований в плане быстродействия. СРВ находят применение в самых различных предметных областях, таких как системы управления подвижными объектами (автомобили, самолеты, ракеты, роботы), системы управления оборудованием и др. Для достижения требуемого качества функционирования необходимо реализовывать достаточно сложную логику работы ИС и перестраивать её в зависимости от наблюдаемых ситуаций в условиях ограниченных ресурсов. СРВ могут быть построены с использованием различных архитектурных стилей, таких как конвейеры и фильтры (pipes&filters), системы, управляемые событиями, репозитории [1]. Несмотря на то, что разработана общая теория построения СРВ, предлагаются многочисленные методики

проектирования СРВ, имеются рекомендации по проектированию, доступны библиотеки паттернов, создание и сопровождение СРВ продолжают оставаться нетривиальной задачей, решение которой требует специальных знаний и высокой квалификации, особенно когда речь идет об экстремальных характеристиках по быстродействию.

Для решения задач проектирования и моделирования в ИТ-сфере широко применяется онтологический подход, который активно развивается. В частности, наблюдается всё более усиливающееся взаимовлияние между онтологическим проектированием и программной инженерией. Этот процесс уже идёт, по крайней мере, полтора десятка лет, но онтологический подход до сих пор не превратился в архитектурный стиль и в среде прикладных программистов продолжает оставаться редким явлением.

В настоящей статье рассматриваются вопросы применения онтологических моделей (ОМ) при проектировании СРВ с учётом особенностей этого класса систем.

## 1 Применение ОМ при проектировании СРВ

Основные типовые этапы проектирования СРВ включают:

- формирование требований;
- архитектурное проектирование:
  - разработка требований к архитектуре;
  - принятие архитектурных решений;
  - разработка архитектурных моделей;
  - разработка архитектурного описания;
  - оценка архитектуры с помощью моделей;
- проектирование приложения по моделям;
- отладка, тестирование;
- модернизация.

*Общий подход.* Большинство этапов идентично как для ИС, не относящихся к классу СРВ, так и для систем мягкого и жёсткого реального времени (ЖРВ). С точки зрения реализации процесса проектирования на верхнем уровне онтологический подход к проектированию подробно описан в [2], хотя этот подход относительно слабо связан с реальным процессом проектирования программного обеспечения [3]. Это относится, в частности, к архитектурному проектированию ИС. Рассмотрим возможные подходы к использованию ОМ на различных этапах проектирования ИС.

*Формирование требований.* На этапе формирования требований доменные онтологии, описывающие область применения целевой системы, могут использоваться в качестве словаря, который могут использовать заинтересованные стороны для исключения неправильного понимания требований. Кроме того, ОМ могут быть использованы как средство формализованного описания требований [4, 5] и управления требованиями [4, 6].

*Архитектурное проектирование СРВ с использованием ОМ.* Архитектурное проектирование – это тот этап, на котором специфика СРВ проявляется в полной мере. В первую очередь это относится к программной архитектуре. Онтологический подход к архитектурному проектированию СРВ различного назначения может быть реализован, в частности, в рамках архитектурного фреймворка Захмана (ФЗ), который, по существу, представляет собой онтологию [7]. В ФЗ заложены и отчасти реализованы идеи, связанные с накоплением и повторным использованием архитектурного знания [8] в форме архитектурных моделей. ФЗ можно рассматривать как контейнер для хранения моделей и метамodelей, в частности ОМ, разного уровня и поддерживающих разные архитектурные перспективы и точки зрения [9].

В настоящее время доступны реализации ФЗ для разных платформ, которые активно используются на практике, например в популярном продукте Enterprise Architect [10].

В основе ФЗ лежит идея, состоящая в том, что функционирование ИС можно описать в терминах ответа на шесть простых вопросов: **что, как, где, кто, когда, почему**: используемые данные (**что?**), процессы и функции (**как?**), места выполнения процессов (**где?**), организации и персонал (**кто?**), управляющие события (**когда?**), цели и ограничения, определяющие работу системы (**почему?**). Ответы на эти вопросы можно давать с использованием различных понятий, т.е. с разной степенью детализации. При этом выделяют шесть уровней детализации: уровень контекста, уровень бизнес-описаний, системный уровень, технологический уровень, технический уровень, уровень реальной системы.

Обозначенные вопросы определяют шесть аспектов рассмотрения с точки зрения разных заинтересованных сторон, в число которых входят: аналитики, менеджеры, архитекторы, разработчики, системные администраторы, пользователи.

Таким способом формируется матрица размером 6x6, каждой клетке которой ставятся в соответствие модели и артефакты. Фрагмент матрицы ФЗ, относящийся к архитектурному уровню, приведён в таблице 1. Прочие клетки заполняются стандартным для ФЗ способом.

Первая строка (контекст) соответствует уровню позиционирования системы с учётом внешних факторов. Данная строка определяет контекст всех последующих строк, отражает самый общий взгляд на организацию проектируемой ИС и отражает точку зрения бизнес-аналитика. Вторая строка описывает функционирование ИС в бизнес-терминах. Третья строка соответствует видению системы архитектором. Четвертая строка – это привязка данных и операций над ними к определенным программным и аппаратным платформам и инструментальным средствам. Пятая строка отражает видения системы администратором (системный администратор, администратор баз данных и т.п.). Шестая строка описывает функционирующую систему. Особо следует отметить, что ФЗ не накладывает ограничений на типы используемых моделей, и ОМ могут быть помещены в этот контейнер без проблем.

Таблица 1 – Матричное представление ФЗ (фрагмент)

№	Степень детализации	Что	Как	Где	Кто	Когда	Почему	Заинтересованная сторона
1	Контекст							Аналитики
2	Бизнес-модель ИС							Топ менеджеры
3	Системная модель ИС	Концептуальные модели данных	Архитектура приложения	Архитектура распределенной ИС	Интерфейсы пользователя	Модель работы с событиями	Бизнес-правила	Архитекторы
4	Технологическая модель ИС							Разработчики
5	Детальное описание							Администраторы
6	Функционирующая ИС							Пользователи

Специфика СРВ проявляется наиболее отчетливо на этапе архитектурного проектирования (третья строка). Это этап, на котором архитектором принимаются архитектурные решения и формируется архитектурное описание, включающее, в частности, архитектурное обоснование [11]. При этом первоочередной интерес представляют архитектурные перспективы, относящиеся к обеспечению быстродействия.

Архитектурное знание можно определить как знание, необходимое архитектору для принятия архитектурных решений и составления архитектурного описания. Архитектурное знание накапливается преимущественно в виде правил, а составление архитектурного

описания требует обоснования выбора тех или иных архитектурных решений. Для решения перечисленных выше задач могут быть успешно использованы ОМ. При этом ОМ, относящиеся к архитектурному (третьему) уровню, можно определить как архитектурные ОМ (АОМ).

## 2 Предлагаемый подход

В основу предлагаемого подхода к использованию АОМ для решения задач архитектурного проектирования СРВ положены следующие принципы:

- АОМ – это часть онтологического описания ИС в рамках ФЗ;
- АОМ может использоваться либо как база знаний, к которой архитектор может обращаться со SPARQL-запросами, либо может использоваться совместно с другими не онтологическими моделями для формирования моделей более высокого уровня;
- АОМ имеет трехуровневую структуру, к каждому из уровней можно обращаться с запросами соответствующего уровня.

Уровни могут рассматриваться как уровни зрелости АОМ: уровень 1 (ядро онтологии, которое содержит общие знания о СРВ), уровень 2 (инкапсулирует знания, позволяющие работать на уровне архитектурных тактик [9] и архитектурных обоснований), уровень 3 (позволяет проверять корректность созданных архитектурных моделей).

При работе на первом уровне к АОМ СРВ можно обращаться с запросами типа:

- *Какие механизмы управления могут использоваться в СРВ?*
- *Какие механизмы могут использоваться при данных ограничениях?*
- *Какие инструментальные средства существуют для поддержки данного механизма?*
- *Какие паттерны доступны для реализации данного механизма?*
- *Какие механизмы ранее использовались в похожих проектах?*

При работе на втором уровне АОМ может отвечать на вопросы типа:

- *Возможно ли использование данного механизма при заданных ограничениях?*
- *Является ли механизм лучшим для использования в системе при заданных ограничениях?*
- *В чём состоят достоинства и недостатки разных механизмов при заданных ограничениях?*

При работе на третьем уровне АОМ можно получить ответы на вопросы типа:

- *Является ли созданная архитектурная модель корректной?*
- *Является ли созданная АОМ оптимальной при заданных ограничениях?*

Очевидно, что при работе на втором и третьем уровнях требуется использование внешних сервисов, таких, например, как моделирование в терминах сетей Петри и др.

В настоящее время разработан каркас первого уровня АОМ, осуществляется его тестирование. В него заложены базовые знания из области современных СРВ. В основу положены такие сущности, как *требования, протокол, ресурс, инструмент, процесс, управление процессами*. АОМ СРВ строится с использованием традиционных подходов к проектированию онтологий [2]. Уровни 2 и 3 находятся на стадии проработки.

## 3 Знания, заложенные в АОМ СРВ уровня 1

*Требования к составу знаний.* Основная проблема при построении ядра АОМ - отбор знаний, которые должны быть представлены в разрабатываемой ОМ. Модель должна быть, с одной стороны, практически полезной, т.е. достаточно подробной, а с другой стороны, иметь ограниченные размеры, поскольку в противном случае её поддержка в актуальном состоянии становится неразрешимой задачей в условиях ограниченности ресурсов, выделяемых на

сопровождение. В основу были положены результаты теоретических исследований и практических разработок, проводившихся СПИИРАН в области СРВ в последние годы. Ниже в сжатом виде приведены знания, которые «защиты» в ядро АОМ.

*Специфика СРВ.* Ключевое свойство СРВ состоит в том, что они работают в «структуре времени», определяемой ходом внешних процессов [12]. Такое соответствие между ходом исполнения компонентов программных приложений СРВ и ходом внешних процессов часто обусловлено наличием жёстких временных рамок для информационных обменов с внешними процессами. Одним из главных следствий этого обстоятельства является требование организации программного приложения СРВ в виде комплекса кооперативных задач - комплекса задач, совместно исполняемых для достижения общих целей функционирования СРВ, при этом возникает нетривиальная задача управления таким комплексом.

В ходе работы многозадачного программного комплекса составляющие его кооперативные задачи разделяют общие системные ресурсы: исполнительные ресурсы (в первую очередь – процессоры, ядра многоядерных процессоров) и информационные ресурсы (глобальные массивы данных, интерфейсные регистры периферийных устройств, элементы человеко-машинного интерфейса и т.п.). В случае СРВ на построение многозадачных программных приложений накладываются, во-первых, требования корректной реализации доступа задач к разделяемым информационным ресурсам и, во-вторых, требования эффективного использования исполнительных ресурсов.

*Знания о способах организации доступа к разделяемым ресурсам.* Требования корректной организации доступа к разделяемым ресурсам состоят в выполнении следующих условий: целостности разделяемых информационных ресурсов и отсутствия опасности возникновения взаимного блокирования задач. Выполнение этих условий необходимо для обеспечения логической корректности программных приложений не только в случае СРВ, но и в случае любых программных приложений, в которых для обеспечения согласованности исполнения кооперативные задачи обмениваются данными и синхронизирующими (сигнальными) информационными сообщениями.

В случае СРВ имеет место дополнительное условие динамической корректности — обеспечение своевременности исполнения задач. В классической постановке продолжительность каждого очередного исполнения задачи реального времени ограничена предельным сроком. Для задач, отвечающих требованиям ЖРВ, нарушение предельного срока считается недопустимым, поскольку может повлечь, например, материальные потери (в частности, вывод из строя оборудования) или даже человеческие жертвы.

В частном случае программные приложения СРВ могут состоять из независимых задач, в которых отсутствуют межзадачные синхронизирующие связи. Если такие связи имеют место, задачи являются взаимозависимыми. Для приложений с независимыми задачами в ряду перечисленных требований корректной работы системы остаются лишь требования динамической корректности, для удовлетворения которых выбирается подходящий порядок предоставления задачам имеющихся исполнительных ресурсов — выбор подходящих алгоритмов планирования вычислительных процессов. Исследования, посвященные разработке эффективных дисциплин планирования вычислительных процессов для СРВ на базе одиночных одноядерных процессоров, начались более сорока лет назад [13]. Были определены эффективные дисциплины планирования со статическими, фиксированными приоритетами задач (например, RM - Rate monotonic), и с динамическими, изменяемыми в ходе работы системы приоритетами задач (например, EDF - Early Deadline First).

Особенно интенсивно развиваются методы повышения эффективности использования вычислительных ресурсов многоядерных процессоров [14]. Дисциплины планирования со статическими приоритетами задач относительно просты в реализации, но в условиях



жёстких предельных сроков выполнения задач уступают дисциплинам с динамическими приоритетами задач в отношении эффективности использования процессорного времени.

Стандартный подход к обеспечению целостности разделяемых информационных ресурсов сводится к использованию «мьютексов» (англ. mutex, от mutual exclusion — «взаимное исключение») [15]. Для каждого из разделяемых ресурсов формируется программный объект мьютекс – синхронизирующий элемент, фиксирующий занятость ресурса. Участок кода, в рамках которого задача имеет доступ к определённому ресурсу (критический интервал по доступу к этому ресурсу), ограничивается синхронизирующими операторами захвата и освобождения ресурса. Состав и порядок действий, реализуемых этими операторами, определяется используемым протоколом доступа к разделяемым ресурсам. Для простейшего протокола PP (Primitive Protocol) единственное условие входа в критический интервал состоит в том, что требуемый ресурс свободен. В условиях применения протокола PP возможна инверсия приоритетов, ведущая к нарушению своевременности исполнения высокоприоритетных задач. Протокол наследования приоритетов PIP (Priority Inheritance Protocol) обеспечивает устранение возможности возникновения инверсии приоритетов, но не гарантирует решения проблемы взаимного блокирования. Протокол пороговых приоритетов PCP (Priority Ceiling Protocol) предотвращает и инверсию приоритетов, и возможность возникновения взаимного блокирования задач. Но его применение допустимо только в условиях использования дисциплин планирования со статическими приоритетами задач [15]. Применение PCP требует специальной статической (на этапе проектирования программного приложения) обработки схемы программного приложения, отражающей структуру межзадачных связей в многозадачном программном комплексе СРВ.

Новый протокол междольных контуров PIPC (Protocol Inter-Partite Contours) не только предотвращает инверсию приоритетов и возникновение взаимного блокирования задач, но при этом оставляет возможность использования эффективных дисциплин планирования с динамическими приоритетами [16]. В случае применения PIPC, как и в случае применения PIP, требуется специальная статическая обработка схемы приложения. Такая обработка опирается на построение графа связей критических интервалов - специального многодольного ориентированного графа, отражающего особенности межзадачных синхронизирующих связей [17].

*Знания о способах работы с независимыми задачами.* Программным приложениям СРВ, состоящим из независимых задач, не требуются услуги типа протоколов доступа к разделяемым ресурсам. Для таких приложений выбор дисциплины планирования выполняется в порядке поиска разрешения противоречий между требованиями снижения объёма выделяемых вычислительных ресурсов и требованиями динамической корректности (требованиями сохранения своевременности выполнения задач).

Для программных приложений СРВ, содержащих взаимозависимые задачи, на выбор дисциплины планирования накладывается дополнительное ограничение: выбираемая дисциплина планирования должна быть допустима в условиях применения требуемого протокола доступа к разделяемым ресурсам. Отмеченное дополнительное ограничение обусловлено тем, что применение конкретного протокола доступа может сужать состав допустимых дисциплин планирования.

Применением PCP защищает исполнение программного приложения от возникновения взаимного блокирования задач. При работе СРВ взаимное блокирование задач может привести к недопустимым последствиям. В этой связи разработчики СРВ обычно ориентируются на применение PCP при создании любых программных комплексов с взаимозависимыми задачами, автоматически сужая возможности выбора эффективных дисциплин планирования вычислительных процессов.

Наличие взаимозависимых задач не обязательно означает возможность возникновения их взаимного блокирования. Из самого этого факта не следует необходимость применения РСР, влекущего отказ от использования эффективных дисциплин планирования. Взаимное блокирование невозможно, если в кодах взаимозависимых задач отсутствуют пересекающиеся (вложенные или сцепленные) критические интервалы. Каждая пара пересекающихся критических интервалов называется связкой критических интервалов [18]. Таким образом, первым шагом анализа структуры программного приложения на возможность взаимного блокирования является проверка наличия в кодах задач связок критических интервалов. Отсутствие таких связок означает, что возникновение взаимного блокирования невозможно, что вместо РСР можно применять протоколы, не сужающие возможности выбора эффективных дисциплин планирования (например, РР или РІР).

Наличие связок критических интервалов является необходимым, но не достаточным условием возможности возникновения взаимного блокирования. Необходимое и достаточное условие такой возможности приведено в [18]. Для проверки программного приложения на возможность взаимного блокирования задач вводится отношение зависимости связок и предлагается строить многодольный ориентированный граф, каждая вершина которого соответствует отдельной связке, а дуги отражают отношение зависимости связок. В этих терминах необходимое и достаточное условие возможности взаимного блокирования формулируется так: взаимное блокирование задач возможно в том и только в том случае, если построенный многодольный ориентированный граф (граф зависимостей связок) содержит междольные контуры.

Таким образом, вторым шагом проверки структуры программного приложения на возможность взаимного блокирования является построение графа связок и проверка наличия в этом графе междольных контуров. Отсутствие междольных контуров означает, что в применении РСР нет необходимости, можно применять протоколы, допускающие возможность использования эффективных дисциплин планирования.

Граф связок не только обеспечивает проверку необходимого и достаточного условия возможности взаимного блокирования, он позволяет локализовать причины такой возможности. В работе [19] представлен подход к устранению этих причин путём локальной модификации кодов задач. В результате модификации можно обеспечить разрыв междольного контура графа связок, устраняя тем самым возможность взаимного блокирования. Если анализ показывает, что по каким-то причинам требуемая модификация кода недопустима, то ещё остаётся проверка возможности применения представленного в [17] протокола РІРС, который, с одной стороны, предотвращает взаимное блокирование и, с другой стороны, оставляет возможность использования эффективных дисциплин планирования с динамическими приоритетами.

*Знания, которые закладываются в уровни 2 и 3.* Знания, заложенные в АОМ первого уровня, не предназначены напрямую для генерации архитектурных решений. Они позволяют только получать информацию или ссылки на информацию о СРВ, которая необходима для принятия архитектурных решений. В первую очередь, эти знания полезны для архитекторов, не имеющих большого опыта при построении СРВ. Кроме того, эту модель можно использовать в учебных целях, в частности для тестирования обучаемых.

Для создания практически полезного сервиса поддержки принятия архитектурных решений при проектировании СРВ требуется создавать приложения на базе ядра, способные отвечать на вопросы, относящиеся к уровню 2. Реализация описанной выше процедуры требует постоянного учёта временных отношений. Следует заметить, что современные механизмы работы с онтологиями позволяют работать со временем [20], но описания получаются достаточно громоздким и число доступных ОМ этого типа ограничено. Поэтому

авторы ориентировались на использования внешних систем моделирования, в частности, разработанных в СПИИРАН. Приложения этого уровня строятся с использованием микросервисных решений. Эти работы находятся в завершающей стадии.

Приложения, относящиеся к уровню 3, строятся на базе сервисов, предоставляемых уровнями 1 и 2, и должны обеспечивать решение задач верификации и оценки эффективности алгоритмов, используемых в СРВ. Приложения этого уровня также строятся с использованием микросервисных решений. Реализация этого уровня должна позволить выйти на реализацию систем поддержки принятия решений (СППР) архитектурного этапа проектирования, т.е. обеспечивать получение информации о возможных решениях СРВ, реализацию архитектурных тактик [9], относящихся к достижению требуемых показателей быстродействия, автоматическое формирование архитектурного обоснования, увязывание показателей быстродействия с другими функциональными и нефункциональными характеристикам, верификацию механизмов управления вычислительными процессами, способность оценивать эффективность алгоритмов управления вычислительным процессом, а также накапливать знания об эффективности применения тех или иных механизмов управления вычислительным процессом. В настоящее время заканчивается проработка основных технических решений приложений уровня 3.

#### 4 Проектирование приложения СРВ по моделям

Современный подход к проектированию ИС предусматривает широкое использование методов проектирования на основе моделей, предполагающее использование моделей, метамodelей и механизмов трансформации моделей, однако по сравнению с онтологиями выразительные способности используемых моделей ограничены, в частности они не позволяют применять процедуры логического вывода. Современные методологии проектирования предполагают использование MDA-ориентированных языков, таких как UML и SysML. Следует отметить, что вопросы интеграции ОМ и MDA-ориентированных языков проработаны достаточно хорошо [21-24].

ОМ могут также использоваться на этапе тестирования и сопровождения программной системы. В частности, возможно использование ОМ для генерации тестов как в статике так и в динамике. Этот подход представляет интерес, прежде всего, когда используются динамические архитектуры. В более простом случае ОМ может использоваться в режиме экспертной системы для поиска неисправностей [25].

Можно утверждать, что на всех этапах проектирования, кроме архитектурного проектирования, использование ОМ определяется не столько спецификой СРВ, сколько архитектурным стилем, комбинацией функциональных и нефункциональных требований, предъявляемых к разрабатываемой ИС, а также используемой методологией проектирования.

В таблице 2 приведены типовые варианты использования ОМ в СРВ и потенциальные преимущества от их использования на различных этапах проектирования.

Таблица 2 – Типовые варианты использования ОМ в СРВ и потенциальные преимущества от их использования

№	Вариант использования	Преимущества от использования ОМ
1	Формирование требований	Возможность формально описывать, анализировать и отслеживать требования
2	Архитектурное проектирование	Уменьшение числа фатальных ошибок проектирования. Накопление и повторное использование архитектурного знания
3	MDA- проектирование	Уменьшение стоимости и сроков проектирования, уменьшение числа ошибок проектирования
4	Тестирование и сопровождение	Возможность реализации накопления и обработки знаний о сбоях, ошибках и неисправностях. Возможность автоматической генерации тестов

## 5 Перспективы интеллектуализации систем СРВ

Проблема повышения уровня интеллекта создаваемых ИС, в частности СРВ и систем ЖРВ, является одной из ключевых задач современного этапа развития ИС. Применительно к СРВ основная проблема заключается в том, что реализация интеллектуальных элементов поведения требует перехода на работу со знанием. Манипуляции со знаниями, представленными в форме ОМ, предполагают реализации логического вывода, что, в свою очередь, требует выполнения большого числа машинных операций, которые не всегда можно выполнять параллельно, что затрудняет использование ОМ не только в системах ЖРВ, но и в СРВ с умеренными требованиями к строгости соблюдения сроков выполнения задач. Кроме того, время, требуемое для реализации логического вывода, не всегда возможно точно предсказать, поскольку потоковые онтологии ориентированы преимущественно на использование в рамках архитектурного стиля *pipes&filters*, а не на построение ИС, управляемых событиями. Для ядра СРВ, отвечающего за планирование вычислительных процессов, это, как правило, неприемлемо. В этом плане, по крайней мере при использовании современных платформ, встраивать ОМ напрямую в ядро СРВ возможно только при очень умеренных требованиях к строгости соблюдения сроков выполнения задач.

Более перспективным представляется направить усилия на разработку конверторов, которые могут строить на базе ОМ более простые, например автоматные, модели. В этом случае речь идёт о синтезе автоматов из ОМ. Ещё более эффективным представляется подход, при котором ядро системы СРВ строится по модульному принципу. Модули в этом случае реализуют политики управления вычислительными процессами, а ОМ используются для управления на уровне политик. В этом случае можно использовать многоуровневую автоматную модель с изменяемой структурой. Алгоритм построения таких автоматов описан, в частности, в [26].

В простейшем случае, при очень жёстких требованиях по времени, автоматы можно зашивать в код, а в более сложном случае при изменении контекста их можно повторно генерировать и загружать в форме модулей. Отдельные модули реализуют критичные к времени функции, которые могут генерироваться из архитектурного описания как в статике, так и в динамике. Для загрузки модулей можно предусмотреть отдельные временные слоты. В последнем случае можно говорить об адаптивной (*agile*) архитектуре в смысле [27]. Перспективы практического применения данного подхода определяются доступностью сервисов трансформации, которые позволяют переходить от онтологического описания к другим описаниям, таким как автоматы, таблицы, деревья решений и другим моделям, которые позволяют получить высокое быстродействие. Возможные подходы к использованию онтологии при построении когнитивных СРВ приведены в таблице 3.

В СРВ ОМ могут использоваться для реализации только части функционала. Чаще всего, они используются в многоуровневых системах для реализации функционала, относящегося к одному из уровней. Как правило, это верхние уровни, где требования по быстродействию менее жёсткие. Часто вспомогательный функционал представлен такими системами как системы мониторинга состояния системы и реконфигурации в случае необходимости. Онтологии в этом случае используются для представления модели самой системы в виде автоматной модели с изменяемой структурой. В качестве элементов интеллектуального поведения можно рассматривать способность СРВ собирать информацию о собственном функционировании и изменять поведение по результатам анализа. Это может быть сделано посредством генерации и загрузки отдельных модулей [25].



Таблица 3 – Возможные подходы к использованию онтологии при построении когнитивных СРВ

№	Функции	ЖРВ	РВ	Способ использования
1	Реализация основного функционала (управление ресурсами)	Использование жёсткого кода, синтезированного из ОМ	Использование небольших ОМ, оптимизированных для СРВ	1. Выделение фрагментов онтологического архитектурного описания 2. Построение специальной онтологии, оптимизированной для СРВ 3. Получение автоматного или другого описания из ОМ и помещение его в загрузаемый модуль
2	Реализация отдельных функций основного функционала	Возможно использование загрузаемых модулей	Использование небольших фрагментов ОМ	1. Использование загрузаемых модулей 2. Встраивание фрагментов ОМ в код
3	Реализация вспомогательного функционала	Накопление результатов оценки эффективности функционирования	Использование значительных по размеру фрагментов ОМ	Встраивание фрагментов ОМ в код

## Заключение

Несмотря на значительные усилия, затраченные на устранение разрыва между традиционными модельно-ориентированными подходами и онтологическим подходом к проектированию, и достижение определённых успехов в данном направлении, этот разрыв продолжает оставаться достаточно большим. На практике необходимо, чтобы СРВ реализовывали всё более сложное интеллектуальное поведение, что в свою очередь требует, чтобы СППР, входящие в состав СРВ, работали на уровне знаний.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0073-2018-0004, утверждённого Федеральным агентством научных организаций России 12 января 2018 г.

## Список источников

- [1] *Shaw, M.* Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline / M. Shaw, D. Garlan. - Prentice-Hall. NJ, 1996. — 242 p.
- [2] *Pan, J.* Ontology-Driven Software Development / J. Pan, S. Staab, U. Aßmann, J. Ebert., ZhaoY. - Springer NY, 2013. – 337 p. – DOI: 10.1007/978-3-642-31226-7.
- [3] *Bass, L.* Software Architecture in Practice. 3rd ed. / L. Bass, P. Clements, R. Kazman. — Upper Saddle River, NJ.: Addison-Wesley. 2013. — 661 p.
- [4] *Mayank, V.* Requirements Engineering and the Semantic Web, Part II. Representation, Management, and Validation of Requirements and System-Level Architectures / V. Mayank, N. Kositsyna, M. Austin. - Technical Report. TR 2004-14, University of Maryland. 2004.
- [5] *Decker, B.* Selforganized Reuse of Software Engineering Knowledge supported by Semantic Wikis / B. Decker, J. Rech, E. Ras, B. Klein, C. Hoecht. - In: Proc. of Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE). November 2005.
- [6] *Lin, J.* A Requirement Ontology for Engineering Design / J. Lin, M.S. Fox, T. Bilgic. - Enterprise Integration Laboratory, University of Toronto, Manuscript, September 1996. – DOI: 10.1177/1063293x9600400307.
- [7] The Zachman International e-Commerce - <http://www.zachmaninternational.com>.
- [8] *Babar, M.A.* Software Architecture Knowledge Management / M.A. Babar, T. Dingsøyr, P. Lago, van H. Vliet. - Dordrecht Heidelberg London New York: Springer. 2009. - 279 p. – DOI: 10.1007/978-3-642-02374-3.
- [9] *Rozanski N.* Software Systems Architecture: Working With Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives / N. Rozanski, E. Woods // Viewpoints. - 2005. V.8, No 2. - p. 576.
- [10] Enterprise Architect User Guide - <https://www.sparxsystems.com>



- [11] International Standard ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering — Architecture description - <http://www.iso.org>
- [12] **Давиденко, К.Я.** Технология программирования АСУТП. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. - М.: Энергоатомиздат. 1985. - 183 с.
- [13] **Liu, C.** Scheduling Algorithms for Multiprocessing in a Hard Real-Time Environment / C. Liu, J. Layland // Journal of the ACM. - 1973. V.20. No.1. - pp.46–61.
- [14] **Andersson, B.** Global Static-Priority Preemptive Multiprocessor Scheduling with Utilization Bound 38% / B. Andersson // Proceedings of the 12th International Conference on Principles of Distributed Systems. 2008. pp.73–88. – DOI: 10.1007/978-3-540-92221-6\_7.
- [15] **Liu, J.W.S.** Real-Time Systems. NJ: Prentice Hall. 2000. - 590 p.
- [16] **Никифоров, В.В.** Протокол предотвращения взаимного блокирования задач в системах реального времени / В.В. Никифоров // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2014. №12. - С.21-27.
- [17] **Никифоров, В.В.** Структурные модели для анализа многозадачных программных систем / В.В. Никифоров, В.А. Павлов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. №9. - С.19-29.
- [18] **Никифоров, В.В.** Статическая проверка корректности разделения ресурсов в системах реального времени / Статическая проверка корректности разделения ресурсов в системах реального времени / В.В. Никифоров, С.Н. Баранов // Труды СПИИРАН, №3 (52), 2017. - С.132-141.
- [19] **Никифоров, В.В.** Доступ к разделяемым ресурсам в системах реального времени с переменными приоритетами задач / В.В. Никифоров, А.А. Тюгашев // Известия ВУЗов, Приборостроение, т.59, №11, 2016. - С. 964-970.
- [20] **Petnga, L.** Ontologies of Time and Time-based Reasoning for MBSE of Cyber-Physical Systems / L. Petnga, M. Austin. - <http://www.isr.umd.edu/~austin/reports.d/CSER2013-LP-MA-Preprint.pdf>.
- [21] **Gasevic, D.** Model Driven Architecture and Ontology Development / D. Gasevic, D. Djuric, V. Devedzic. - Springer-Verlag, 2006. – DOI: 10.1007/3-540-32182-9.
- [22] **Kiko, K.** Integrating Enterprise Information Representation Languages / K. Kiko, C. Atkinson. - In: Proc. of Int. Workshop on Vocabularies, Ontologies and Rules for The Enterprise (VORTE 2005), Enschede, The Netherlands (2005).
- [23] **Cranefield, S.** UML and the Semantic Web. In: Proceedings of the International Semantic Web Working Symposium (SWWS), Stanford. 2001.
- [24] Ontology Definition Metamodel. OMG: Ontology Definition Metamodel RFP. 6th Revised Submission. 2006. - <http://www.omg.org/dontology/>.
- [25] **Жукова, Н.А.** Архитектурный подход к построению систем обработки многомерных измерений параметров пространственно распределенных объектов» / Н.А. Жукова, А.И. Водяхо // Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, №2, 2013. - С.21-26.
- [26] **Osipov, V.Yu.** Automatic Synthesis of Action Programs for Intelligent Robots, Program. Comput. Software. 42 (3) 2016. - pp.155–160. – DOI: 10.1134/s0361768816030063.
- [27] **Babar, M.A.** Agile Software Architecture / M.A. Babar, A.W. Brown, I. Mistrik. - Waltham, MA: Elsevier Inc. 2014. - 392 p. – DOI: 10.1016/c2012-0-01208-2.
- 

## ONTOLOGY MODELS FOR REAL TIME SYSTEMS

**A.I. Vodyaho<sup>1</sup>, V.V. Nikiforov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia  
[aivodyaho@mail.ru](mailto:aivodyaho@mail.ru)

<sup>2</sup> Saint Petersburg Institute for Information and Automation RAS. Saint Petersburg, Russia  
[nik@iias.spb.su](mailto:nik@iias.spb.su)

### Abstract

The modern state of information technologies is characterized by permanently increasing level of requirements to operation effectiveness, cost, duration of development and the level of intelligence of information systems (IS). The effective approach to solution of these problems is the usage of ontology models in all stages of IS life cycle. An essential part of modern IS are real time systems (RTS). In the article the mechanisms of processes management which are used in modern RTS and possible aspects of ontology models used for solving problems appearing in different stages of RTS development are analyzed. From the development point of view, RTS requires a specific architectural design stage. This

stage uses architectural ontological models which allow implementation of architectural decision support system and mechanisms of architectural knowledge saving and processing. The structure of architectural ontological model is considered, three levels of model maturity are defined. The composition of knowledge to be included into a model kernel is considered. The built-in ontological models in RTS can be used for implementation of the functions connected with realization of cognitive behavior. It is suggested to use presented architectural ontological model as an element of well known and widely used Zachman's framework.

**Key words:** *ontology, Zachman's framework, design, real time systems.*

**Citation:** *Vodyaho AI, Nikiforov VV. Ontology models for real time systems [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(2): 240-252. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-240-252.*

## Acknowledgment

The work was financially supported within the government task No. 0073-2018-0004, approved by Federal Agency of Scientific Organizations on January 12, 2018.

## References

- [1] *Shaw M, Garlan D.* Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline. Prentice-Hall. NJ, 1996.
- [2] *Pan J, Staab S, Afmann U, Ebert J, Zhao Y.* Ontology-Driven Software Development. Springer NY, 2013. – DOI: 10.1007/978-3-642-31226-7.
- [3] *Bass L, Clements P, Kazman R.* Software Architecture in Practice. 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley. 2013.
- [4] *Mayank V, Kositsyna N, Austin M.* Requirements Engineering and the Semantic Web, Part II. Representation, Management, and Validation of Requirements and System-Level Architectures. Technical Report. TR 2004-14, University of Maryland. 2004.
- [5] *Decke B, Rech J, Ra E, Klein B, Hoecht C.* Selforganized Reuse of Software Engineering Knowledge supported by Semantic Wikis. In: Proc. of Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE). November 2005.
- [6] *Lin J, Fox MS, Bilgic T.* A Requirement Ontology for Engineering Design. Enterprise Integration Laboratory, University of Toronto, Manuscript, September 1996. – DOI: 10.1177/1063293x9600400307.
- [7] The Zachman International e-Commerce Site: <http://www.zachmaninternational.com>.
- [8] *Babar MA, Dingsøyr T, Lago P, van Vliet H.* Software Architecture Knowledge Management. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer. 2009. – DOI: 10.1007/978-3-642-02374-3.
- [9] *Rozanski N, Woods E.* Software Systems Architecture: Working With Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives. Addison-Wesley. 2005. - 546 p.
- [10] Enterprise Architect User Guide - <https://www.sparxsystems.com>.
- [11] International Standard ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering — Architecture description <http://www.iso.org>
- [12] *Davidenko KYa.* Automated systems programming technologies. Real time systems development, parallel and distributed systems [In Russian]. – Moscow: Energoatomizdat. 1985.
- [13] *Liu C, Layland J.* Scheduling Algorithms for Multiprocessing in a Hard Real-Time Environment // Journal of the ACM. 1973; 20(1): 46–61.
- [14] *Andersson B.* Global Static-Priority Preemptive Multiprocessor Scheduling with Utilization Bound 38% // Proceedings of the 12th International Conference on Principles of Distributed Systems. 2008. - P.73–88. – DOI: 10.1007/978-3-540-92221-6\_7.
- [15] *Liu JWS.* Real-Time Systems. NJ: Prentice Hall. 2000.
- [16] *Nikiforov VV.* Deadlock avoidance protocol for real time systems [In Russian]. Izvestiya VUZov. Priborostroenie. 2014; 12: 21-27.
- [17] *Nikiforov VV, Pavlov VA.* Structural models for multitask systems analysis [In Russian]. Informatsionno-issledovatelnye i upravlyayustchie systemy. 2011; 9: 19-29.
- [18] *Nikiforov VV, Baranov SN.* Statistical testing of correctness of resources distribution in real time systems [In Russian]. Trudy SPIIRAS, 2017; 52(3): 132-141.
- [19] *Nikiforov VV, Tyugashev AA.* The access to shared resources in real time systems [In Russian]. Izvestiya VUZov. Priborostroenie, 2016; 59(11): 964-970.
- [20] *Petnga L, Austin M.* Ontologies of Time and Time-based Reasoning for MBSE of Cyber-Physical Systems. - <http://www.isr.umd.edu/~austin/reports.d/CSER2013-LP-MA-Preprint.pdf>.

- [21] **Gasevic D, Djuric D, Devedzic V.** Model Driven Architecture and Ontology Development. Springer-Verlag, 2006. – DOI: 10.1007/3-540-32182-9.
- [22] **Kiko K, Atkinson C.** Integrating Enterprise Information Representation Languages. In: Proc. of Int. Workshop on Vocabularies, Ontologies and Rules for The Enterprise (VORTE 2005), Enschede, The Netherlands. 2005.
- [23] **Cranefield S.** UML and the Semantic Web. In: Proceedings of the International Semantic Web Working Symposium (SWWS), Stanford. 2001.
- [24] Ontology Definition Metamodel. OMG: Ontology Definition Metamodel RFP. - <http://www.omg.org/dontology/>, 6th Revised Submission. 2006.
- [25] **Zhukova NA, Vodyaho AI.** Architectural approach to development of information systems for processing results of multidimensional parameters of distributed object measurements. [In Russian]. Izvestiya LETI, 2013; 2: 21-26.
- [26] **Osipov VYu.** Automatic Synthesis of Action Programs for Intelligent Robots, Program. Comput. Software. 2016; 42(3): 155–160. – DOI: 10.1134/s0361768816030063.
- [27] **Babar MA, Brown AW, Mistrik I.** Agile Software Architecture. Waltham, MA: Elsevier Inc. 2014. – DOI: 10.1016/c2012-0-01208-2.
- 

### Сведения об авторах



**Водяхо Александр Иванович**, 1947 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ ЛЭТИ) в 1973 году, к.т.н. (1977), д.т.н. (1992), профессор кафедры вычислительной техники СПбГЭТУ ЛЭТИ. В списке научных трудов более 50 работ в области архитектуры вычислительных и информационных систем.

**Alexandre Ivanovich Vodyaho** (b. 1947) graduated from the Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" (ETU) in 1973. Ph.D (1977), DrS (1992) Professor, ETU University. He is co-author of more than 50 publications in the field of computer and information systems architecture.



**Никифоров Виктор Викентьевич**, 1941 г. рождения. Окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) в 1965 году, к.т.н. (1984), д.т.н. (1991), профессор (2001), главный научный сотрудник лаборатории вычислительной техники и технологий программирования СПИИРАН. В списке научных трудов более ста работ в области разработки программных средств для робототехнических комплексов, программных систем моделирования дискретных процессов, операционных систем для программных приложений реального времени.

**Viktor Vikentievich Nikiforov**, (b. 1941) graduated from the Leningrad Polytechnic Institute in 1965. Ph.D (1984), DrS (1991), professor (2001), chief research fellow Saint-Petersburg Institute for Information and Automation RAS. He is author and co-author of over a hundred publications in the field of software application design.

He is author and co-author of over a hundred publications in the field of software application design.

УДК 004.7.056.53

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАДАНЫХ В ФОРМАТЕ XML

В.И. Воробьев<sup>1</sup>, Т.В. Монахова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия  
vvi@iiias.spb.su

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский институт Минобороны РФ, Королев, Россия  
monakhova\_t81@mail.ru

### Аннотация

В статье рассматривается защита метаданных, представленных в формате XML и родственных языков. При этом данные о предметной области упорядочиваются с применением онтологических методов. Предложена трёхкомпонентная онтологическая модель системы защиты данных на основе онтологических представлений данных о предметной области в части защищаемых данных и потенциальных угроз. Разработан шаблон классификации данных, который позволяет детализировать соответствующие классы, вносить конкретные элементы данных и отсекал неиспользуемые классы или их подклассы. На основе онтологических представлений защищаемых данных и актуальных угроз в соответствии с политикой безопасности строится онтологическая модель средств защиты, реализуемых в разрабатываемой системе. Обсуждены языки описания метаданных. Для защиты XML-документа предлагается использовать методы обфускации и текстовой стеганографии. Предложен алгоритм модифицированного метода обфускации со случайной выборкой части кода. Построена блок-схема алгоритма, пригодного для проектирования средств защиты метаданных. Пояснен отказ от использования в данном случае документа XML в роли стегакодека. Разработаны рекомендации по способу и последовательности применения онтологических методов защиты метаданных. Приводится описание особенностей применения методов обфускации и текстовой стеганографии.

**Ключевые слова:** метаданные, онтологическая модель, система защиты данных, XML, обфускация, стеганография, большие данные.

**Цитирование:** Воробьев, В.И. Методы защиты метаданных в формате XML / В.И. Воробьев, Т.В. Монахова // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2 (28). – С.253-264. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-253-264.

### Введение

Работа в любой из предметных областей (ПрО) в сфере науки, техники или коммерции связана с обработкой разнообразных данных. При этом значительное количество обрабатываемых данных составляют данные, требующие защиты. Это не только персональные данные, но и данные, являющиеся предметом интеллектуальной собственности, в том числе таких её направлений, как государственная и коммерческая. Риски, возникающие в связи с применением метаданных, можно условно разделить на две группы: внедрение кода и раскрытие ценной информации. Большинство таких данных имеют разные форматы, типы и относятся к разным ПрО. Данные также могут дублироваться в силу различных причин, к ним могут применяться различные процедуры обработки. Соответственно, обработка получаемого набора данных должна начинаться с систематизации и упорядочения с учётом форматов, происхождения и способов обработки. При этом выявляются обобщённые данные об отдельных подмножествах данных о ПрО, другими словами, метаданные. Защита метаданных является важным направлением исследований.

## 1 Онтологический подход к определению метаданных

В настоящее время в подавляющем большинстве ПрО используют методы больших данных. Количество таких ПрО и объёмы данных неуклонно возрастают, что делает обработку больших данных актуальным и приоритетным направлением исследований. Это привело к появлению таких технологий, как Data Mining, Big data, RDF, XML, Semantic Web [1]. При этом характерной особенностью работы с данными является работа со слабо структурированными данными, что привело к появлению технологий класса Semantic Web, RDF и XML [2]. К большим данным применяют определённый набор методов и техник анализа, среди которых: методы класса Data Mining, распознавание образов, прогнозная аналитика, визуализация аналитических данных и др. Примером технологий и инструментов работы с большими данными является Hadoop [3]. Успешность проекта связана с тем, что он разработан на языке Java в рамках вычислительной парадигмы MapReduce, согласно которой приложение разделяется на большое количество одинаковых элементарных заданий, выполняемых на узлах кластера и затем сводимых в конечный результат. Приведённые сведения о проекте Hadoop объясняют его ценность для обработки больших данных – кластерная обработка позволяет существенно сократить временные затраты на обработку больших объёмов данных, что особенно важно при условии высокой скорости изменения больших данных. Защита Big Data существенно отличается от защиты, рассчитанной на обработку только обычных данных (отличающихся набором признаков - volume, velocity, variety).

Безопасность больших данных имеет два направления: управление безопасностью больших данных; разработка и применение средств защиты больших данных. Разработка системы защиты больших данных должна производиться с использованием ряда методов и техник анализа, применимых к большим данным. Одним из таких методов является онтологический анализ и описание данных с выделением метаданных [4]. Преимущества онтологического подхода состоят в гибкости онтологии, т.е. возможности быстрого изменения, в том числе добавления новых элементов данных без кардинальной переработки уже созданной онтологии. Кроме того, онтологический анализ данных позволяет разделить их на некоторые классы, что, в свою очередь, даёт возможность разработки процедур обработки данных, принадлежащих к одному классу [5].

Модель ПрО можно представить в следующем виде [6]:  $M_n = (F, T, U, I, R)$ , где

$F = \{f_a \mid a = \overline{1, A}\}$  - множество функций системы;

$T = \{t_j \mid j = \overline{1, J}\}$  - множество задач обработки информации;

$U = \{u_k \mid k = \overline{1, K}\}$  - множество пользователей;

$I = I^{bx} \cup I^{blyx}$  - множество данных ПрО;

$I^{bx} = \{i_x^{bx} \mid x \in X^{bx}\}$  - множество данных, необходимых для обеспечения информационных потребностей системы;

$I^{blyx} = \{i_x^{blyx} \mid x \in X^{blyx}\}$  - множество данных, являющихся результатом взаимодействия пользователей и функций системы;

$R = \{r_l \mid l = \overline{1, L}\}$  - множество отношений между компонентами  $F, T, U, I$ .

На основе указанной модели осуществляем переход к описанию семантики онтологии:

$O = \langle F, V, S, H \rangle$ , где

$F$  - множество функций, выполняемых системой;

$V$  - множество определений указанных функций;

$S$  - множество отношений между функциями;



$H$  - множество правил использования функций системы, что позволяет разделить её на составляющие элементы.

Онтологией называют явное описание множества объектов и связей между ними, т.е. структурированный словарь. Иными словами, онтология определяет множество сущностей, описывающих и представляющих ПрО, и логические выражения соотношений терминов друг с другом. Такое описание выглядит как четвёрка вида

$O=(E, D, R, P)$ , где

$E$  - множество сущностей (термины, классы, объекты, отношения и функции);

$D$  - множество определений сущностей;

$R$  - множество отношений между сущностями;

$P$  - множество правил использования сущностей.

Онтологический анализ представляет собой разделение данных на классы с последующим выделением подклассов и экземпляров данных классов, а также отношений между ними.

Существуют следующие типы онтологий: генеалогия, партономия, атрибутивная структура, таксономия и функциональности. Генеалогией называют онтологию, описывающую отношения типа «отец-сын», партономия рассматривает отношения «имеет-часть», таксономия – «род-вид». Что описывается при помощи онтологий других двух типов, очевидно [7].

Обычно онтологии используют язык, имеющий чёткие различия между классами, свойствами и отношениями. Некоторые инструментальные средства поддерживают автоматизированное использование онтологий, обеспечивая расширенные возможности в отношении интеллектуальных приложений. Кроме того, онтологии позволяют осуществлять описание и структуризацию метаданных [7, 8].

## 2 Онтологическая модель системы защиты данных

В данной статье при построении системы защиты данных использовалась онтологическая модель, состоящая из трёх компонент: онтологические представления защищаемых данных, актуальные угрозы, средства защиты. Такая модель позволяет разрабатывать системы защиты как больших, так и традиционных данных [9].

В первую очередь строится онтологическая модель защищаемых данных. Защищаемые данные можно условно разделить по предметной направленности, по виду данных и по процессу обработки, в котором они участвуют. В указанных классах выделяются подклассы и, возможно, сущности. Полученные подклассы также можно разделить на подклассы и т.д.

К примеру, при разделении данных по предметной направленности выделяют следующие классы: государственная тайна, коммерческая тайна, банковская тайна, профессиональная тайна, служебная тайна, персональные данные и интеллектуальная собственность.

Аналогичным образом составляется онтологическое представление угроз, актуальных для данной ПрО. При этом угрозы делят по преднамеренности, выделяя в них преднамеренные и непреднамеренные, по воздействию (нарушение физической целостности, несанкционированная модификация, несанкционированное получение и несанкционированное размножение), по дестабилизирующим факторам, по субъекту непосредственной реализации.

Каждая ПрО характеризуется своим набором защищаемых данных и индивидуальным набором актуальных угроз, и предсказать заранее модель, подходящую для конкретной ПрО, невозможно. Так же индивидуален для каждой ПрО и набор экземпляров защищаемых данных. Поэтому в статье предлагается некий шаблон, который для каждой ПрО позволяет детализировать соответствующие классы, вносить конкретные элементы данных и отсекал неиспользуемые в данной ПрО классы или их подклассы.

На основе онтологических представлений защищаемых данных и актуальных угроз в соответствии с политикой безопасности конкретной ПрО строится онтологическая модель средств защиты, реализуемых в разрабатываемой системе. В случае использования в ПрО технологий Big Data, выбираемые средства защиты несколько отличаются от традиционных, к примеру, они должны обладать функциями самообучения.

Таким образом, строится трёхкомпонентная онтологическая модель разрабатываемой системы защиты, на базе которой строится программный код системы защиты данных. Непосредственный переход от онтологической модели к написанию программного кода возможен в силу возможности задания в онтологической модели типов данных и отношений между этими данными, что позволяет описывать в коде конкретные функции и процедуры. Кроме того, онтологическая модель данных является объектно-ориентированной, что позволяет создать на её основе объектно-ориентированный код.

### 3 Специфика описания метаданных и языки их описания

При анализе данных о ПрО, и больших данных в том числе, выделяются метаданные, в соответствии с которыми данные группируются и делятся на классы. В случае повреждения метаданных (например, преднамеренное искажение форматов данных), собранные данные о ПрО вновь превращаются в хаотичный набор, который непригоден для обработки без повторного выделения метаданных. Поэтому защита метаданных является основным элементом процесса защиты данных. Наиболее часто метаданные представляются в форме онтологии. В свою очередь, метаданные также могут быть разделены на отдельные группы. Для описания метаданных обычно применяют структурированные языки: XML, OWL, RDF, RDFS и другие [1].

При использовании языка XML система описывается в виде тегов и их атрибутов. Такая организация позволяет создать модель системы любой степени сложности при одном ограничении: корневой элемент описываемой структуры должен быть только один.

Наиболее часто для описания онтологий применяется язык OWL (Ontology Web Language). Онтология, применяемая в OWL, может включать описания классов, свойств и методов. При этом формальная семантика OWL определяет способы получения её логических последствий – фактов, не присутствующих явным образом в онтологии, но вызванных семантикой. Эта возможность может базироваться на одном документе или множестве распределённых документов, объединённых с использованием определённых механизмов языка OWL.

Поскольку данные, для защиты которых разрабатывается система, имеют определённую значимость для ПрО, защите метаданных (включая используемые для построения трёхкомпонентной модели) также требуется уделить внимание.

Рассмотренные языки описания метаданных являются родственными по отношению друг к другу, поскольку представляют собой язык XML и его модификации. Следовательно, методы защиты, применимые для языка XML, работают и в отношении остальных языков описания метаданных [10-12].

### 4 Применение методов обфускации для защиты метаданных

Наиболее часто для документов XML применяются методы обфускации («запутывания») кода. На рисунке 1 представлена иерархическая схема классификации метаданных на примере разных типов ресурсов, на рисунке 2 - XML-представление примера классификации метаданных для разных типов ресурсов.

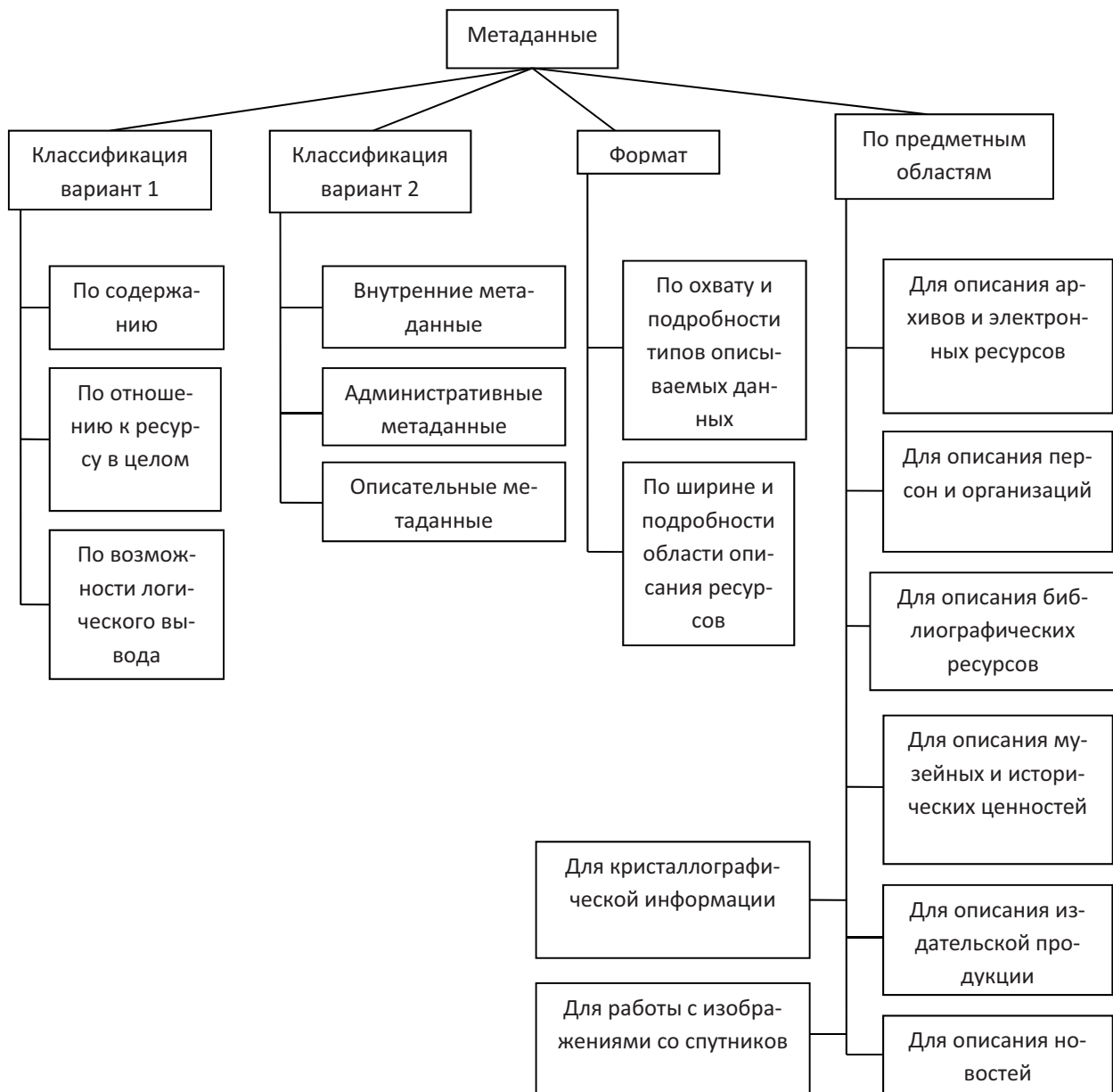


Рисунок 1 - Иерархическая схема классификации метаданных на примере разных типов ресурсов

Для «запутывания» XML- кода (рисунок 2) часто используется следующий метод: выбирается случайный фрагмент XML- кода, после чего в исходном тексте выбирается способ запутывания с сохранением исходной логической последовательности, после чего выбранный кусок кода заменяется полученным [13]. При этом следует выбирать новый способ представления таким образом, чтобы он не мог выражать почти ничего, кроме исходной логики. Приведём простейший пример такой операции. На рисунке 3 приведена схема выделенного фрагмента XML- кода из рисунка 1. Далее изменим структуру фрагмента XML- кода по схеме, представленной на рисунке 4, и сам XML- код на рисунке 5.

```

<?xml version="1.0" encoding="Windows-1251" ?>
<Метаданные>
  <Классификация_вариант_1>
    <По_содержанию/>
    <По_отношению_к_ресурсу_в_целом/>
    <По_возможности_логического_вывода/>
  </Классификация_вариант_1>
  <Классификация_вариант_2>
    <Внутренние_метаданные/>
    <Административные_метаданные/>
    <Описательные_метаданные/>
  </Классификация_вариант_2>
  <Формат>
    <По_охвату_и_подробности_типов_описываемых_ресурсов/>
    <По_ширине_и_подробности_области_описания_ресурсов/>
  </Формат>
  <По_предметным_областям>
    <Для_описания_архивов_и_электронных_ресурсов/>
    <Для_описания_персон_и_организаций/>
    <Для_описания_библиографических_ресурсов/>
    <Для_описания_музейных_и_исторических_ценностей/>
    <Для_описания_издательской_продукции/>
    <Для_кристаллографической_информации/>
    <Для_работы_с_изображениями_со_спутников/>
    <Для_описания_новостей/>
  </По_предметным_областям>
</Метаданные>

```

Рисунок 2 - XML-представление примера классификации метаданных для разных типов ресурсов

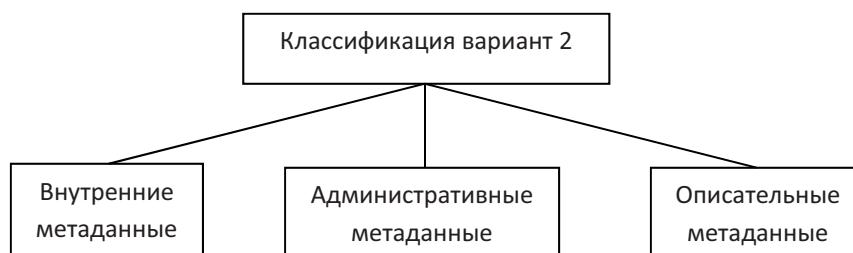


Рисунок 3 - Структура выделенного фрагмента XML-кода

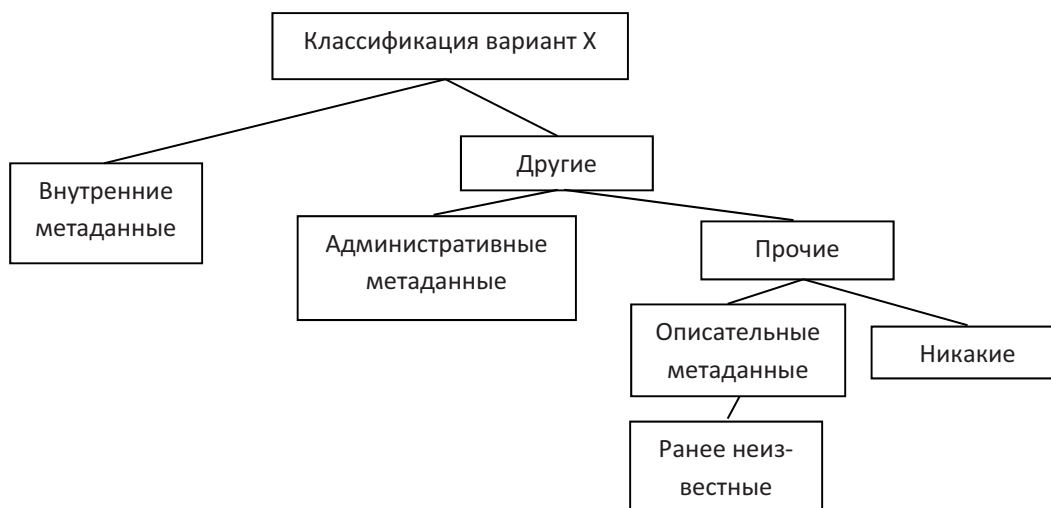


Рисунок 4 - Структура изменённого фрагмента кода, где «вариант X», «Другие», «Прочие» и «Никакие» добавлены для запутывания XML- кода

```

<Классификация_вариант_X>
<Внутренние_метаданные/>
<Другие>
<Административные_метаданные/>
<Прочие>
<Описательные_метаданные>
<Ранее_неизвестные/>
</Описательные_метаданные>
<Никакие/>
</Прочие>
</Другие>
</Классификация_вариант_X>
<X value="2">
<XXX/>
</X>

```

Рисунок 5 - Изменённый фрагмент кода

Как видно из рисунков 2 и 5, в исходном XML-документе выбрана часть, описывающая разделение метаданных на внутренние, административные и описательные, и изменён этот участок кода, как показано на рисунке 6.

```

<?xml version="1.0" encoding="Windows-1251" ?>
<Метаданные>
<Классификация_вариант_1>
<По_содержанию/>
<По_отношению_к_ресурсу_в_целом/>
<По_возможности_логического_вывода/>
</Классификация_вариант_1>
<Классификация_вариант_X>
<Внутренние_метаданные/>
<Другие>
<Административные_метаданные/>
<Прочие>
<Описательные_метаданные>
<Ранее_неизвестные/>
</Описательные_метаданные>
<Никакие/>
</Прочие>
</Другие>
</Классификация_вариант_X>
<X value="2">
<XXX/>
</X>
<Формат>
<По_охвату_и_подробности_типов_описываемых_ресурсов/>
<По_ширине_и_подробности_области_описания_ресурсов/>
</Формат>
<По_предметным_областям>
<Для_описания_архивов_и_электронных_ресурсов/>
<Для_описания_персон_и_организаций/>
<Для_описания_библиографических_ресурсов/>
<Для_описания_музейных_и_исторических_ценностей/>
<Для_описания_издательской_продукции/>
<Для_кристаллографической_информации/>
<Для_работы_с_изображениями_со_спутников/>
<Для_описания_новостей/>
</По_предметным_областям>
</Метаданные>

```

Рисунок 6 - Результат обфускации

Из рисунка 6 видно, что полученный в результате документ стал менее компактным, чем исходный, и менее понятным. Однако, при желании выделить исходный код всё же можно. Представленный метод обфускации можно доработать, присвоив каждой части кода порядковый номер. Далее используется программный генератор случайных чисел, чтобы получить порядковый номер трансформируемого участка. Осуществляется замена выбранного куска кода на изменённый. Из списка возможных значений исключается порядковый номер изме-



нённой части и вновь запускается генератор случайных чисел, изменяется часть кода и так до тех пор, пока все участки кода не будут трансформированы. Блок-схема соответствующего алгоритма приведена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Блок-схема изменённого алгоритма обфускации

Может быть выбран и менее распространённый метод обфускации, например, применение своеобразной «матрёшки», т.е. вставки не имеющих значения в контексте ПрО строк через строку кода с начала и конца документа к середине. Полученный текст с включением незначущих слов (например, Desyat\_negrityat и т.д. - балласт) приведён на рисунке 8. Как видно из рисунков 2, 6 и 8, использование обфускации действительно затрудняет чтение и, следовательно, понимание кода, но имеет определённые недостатки, среди которых увеличение размера XML-кода и возможность при желании всё же определить исходный код [14].

## 5 Стеганография XML-кода

XML-документы часто применяются в связи со стеганографией, а именно – методом изменения порядка следования атрибутов в файлах с разметкой и рядом других алгоритмов. При этом XML-документ используется в качестве стегоконтейнера [15]. К примеру, скрываемая информация может быть встроена в зарезервированные поля, предназначенные для метаданных. Но в данном случае метаданные, записанные в формате XML, являются собственно стего. При этом логично воспользоваться методами текстовой стеганографии, когда контейнер представляет собой текстовый файл. Перед записью стего шифруется, а при чтении расшифровывается.

```

<?xml version="1.0" encoding="Windows-1251" ?>
<Метаданные>
<Desyat_negrityat/>
  <Классификация_вариант_1>
  <Odin_poperhnulsya/>
    <По_содержанию/>
  <Devyat_negrityat/>
    <По_отношению_к_ресурсу_в_целом/>
  <Odin_ne_smog_prosnutsya/>
    <По_возможности_логического_вывода/>
  <Vosem_negrityat/>
  </Классификация_вариант_1>
  <Odin_ne_vozvratilsya/>
  <Классификация_вариант_2>
  <Sem_negrityat/>
  <Внутренние_метаданные/>
<Zarubil_odin_sebya/>
  <Административные_метаданные/>
<Shest_negrityat/>
  <Описательные_метаданные/>
<Odnogo_uzhalil_shmel>
  </Классификация_вариант_2>
<Pyat_negrityat/>
  <Формат>
  <Zasudili_odnogo/>
  <По_охвату_и_подробности_типов_описываемых_ресурсов/>
  <Chetyre_negritenka/>
  <По_ширине_и_подробности_области_описания_ресурсов>
  <Poshli_kupatsya_v_more/>
  <Odin_popalsya_na_primanku/>
  <Ih_ostalos_troe/>
  <Troe_negrityat/>
  <V_zverince_okazalis/>
  <Odnogo_shvatil_medved/>
  <I_vdvoem_ostalis/>
  <Dvoe_negrityat/>
  <Legli_na_solncepeke/>
  <Odin_sgorel/>
  <I_vot_odin/>
  <Neschastnyi_odinokii/>
  <Poslednii_negritenok/>
  <Poglyadel_ustalo/>
  <On_poshel_povesilsya/>
  <I_nikogo_ne_stalo/>
  </По_ширине_и_подробности_описания_ресурсов>
  <Ostalos_ih_chetyre/>
  </Формат>
<Sudeistvo_uchinili/>
  <По_предметным_областям>
<Ih_ostalos_pyat/>
  <Для_описания_архивов_и_электронных_ресурсов/>
  <Poshli_na_paseku_gulyat/>
  <Для_описания_персон_и_организаций/>
  <I_ostalos_shest_ih/>
  <Для_описания_библиографических_ресурсов/>
  <Drova_rubili_vmeste/>
  <Для_описания_музейных_и_исторических_ценностей/>
  <Ostalis_vsemerom/>
  <Для_описания_издательской_продукции/>
  <V_Devon_ushli_rotom/>
  <Для_кристаллографической_информации/>
  <Ih_ostalos_vosem/>
  <Для_работы_с_изображениями_со_спутников/>
  <Roev_klevali_nosom/>
  <Для_описания_новостей/>
  <Ih_ostalos_devyat/>
  </По_предметным_областям>
<Otpравilis_obedat/>
</Метаданные>

```

Рисунок 8 - Обфускация с использованием «матрёшки»

Часто используются методы изменения порядка следования маркеров конца строки, хвостовых пробелов, знаков одинакового начертания и двоичных нулей. Кроме того, зашифрованное стего может быть встроено в другой XML-файл. Хотя именно благодаря тому, что XML-документ легко использовать в качестве контейнера, этот метод применять весьма рискованно [16].

## Заключение

Метаданные в виде онтологии записываются на XML и родственных ему языках. Эти данные требуют защиты, для чего предлагается использовать трёхкомпонентную модель при проектировании комплексных средств защиты информационных объектов. Поскольку эта модель также представляет собой онтологию, в статье рассмотрены применяемые методы защиты XML-структурированных данных, а именно обфускация и текстовая стеганография.

## Список источников

- [1] *Tauberer, J.* What is RDF and what is it good for? Last revised January 2008. – <https://github.com/JoshData/rdfabout/blob/gh-pages/intro-to-rdf.md>.
- [2] *Половикова, О.Н.* Анализ XML-подхода для описания метаданных и онтологий в Semantic Web. 2015. – <http://izvestia.asu.ru/media/files/issue/9/articles/ru/119-123.pdf>.
- [3] *Лэм, Чак.* Nadaop в действии. — М.: ДМК Пресс, 2012. — 424 с.
- [4] *Коголовский, М.Р.* Метаданные в компьютерных системах / М.Р. Коголовский // Программирование. - 2013. Т. 39, № 4. С. 28-46. - <http://www.ipr-ras.ru/articles/kogalov13-03.pdf>.
- [5] *Большаков, О.А.* Метаданные и прикладное программирование / О.А. Большаков // Школа программирования Coding Craft – 2011. - <https://codingcraft.ru/metadata.php>.
- [6] *Воробьев В.И.* Проектирование систем защиты с применением онтологий / В.И. Воробьев, Т.В. Монахова // Труды СПИИРАН. - 2004. Т.2, №2. – С.212-215.
- [7] *Гаврилова, Т.А.* Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем / Т.А. Гаврилова // Новости искусственного интеллекта. - 2003. №2. - с.24-30.
- [8] *Боргест, Н.М.* Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // Онтология проектирования. 2013. №2(8). - С.49-55. - [http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013\\_2%288%29/7\\_Borgest.pdf](http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013_2%288%29/7_Borgest.pdf)
- [9] Информационная безопасность социально-экономических систем: монография / Апатова Н.В., Акинина Л.Н., Бойченко О.В., Герасимова С.В. и др. Под ред. д.т.н. профессора О.В. Бойченко. – Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2017. - 348 с.
- [10] *Монахова Т.В.* Онтологическая модель описания экспериментальных данных / Т.В. Монахова // Труды СПИИРАН. – 2013. №1(24). – С.303-312.
- [11] *Монахова, Т.В.* Онтологическая модель системы защиты данных / Т.В. Монахова // Сборник трудов секции «Информационная безопасность» Всероссийской конференции по вопросам баллистического обеспечения. - Королёв: 4 ЦНИИ МО РФ. – 2014.
- [12] *Монахова, Т.В.* Защита XML-структурированных данных / Т.В. Монахова // Труды СПИИРАН. – 2013. №2(25). – С.182-189.
- [13] *Ализар, А.* Математическая обфускация: криптографическая защита программного кода. 2014. - <https://xaker.ru/2014/08/15/crypto-obfuscation/>.
- [14] *Никольская, К.Ю.* Обфускация и методы защиты программных продуктов / К.Ю. Никольская, А.Д. Хлестаков // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере 2015; 2(16) с.7-10. - [http://info-secur.ru/is\\_16/Nikolskaya.pdf](http://info-secur.ru/is_16/Nikolskaya.pdf).
- [15] *Текин, В.* Текстовая стеганография / В. Текин // Мир ПК. - 2004. №11 - <http://www.osp.ru/pcworld/2004/11/169154>.
- [16] *Барильник, С.С.* Применение алгоритмов стеганографии в современных информационных системах / С.С. Барильник, И.В. Минин, О.В. Минин // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы безопасности информационных технологий. - Красноярск. 2009. - <https://window.edu.ru/resource/414/67414/files/AProBIT-2009.pdf>.

## PROTECTION OF METADATA IN XML FORMAT

V.I. Vorobjev<sup>1</sup>, T.V. Monakhova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Federal State Institution of Science St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*  
vvi@iias.spb.su

<sup>2</sup>*Central Research and Development Institute of the Russian Defense Ministry, Korolev, Russia*  
monakhova\_t81@mail.ru

### Abstract

The article discusses the protection of metadata presented in XML and related languages. At the same time data on the subject area are ordered using ontological methods. A three-component ontological model of the data protection system is proposed on the basis of ontological representations of domain data in terms of protected data and potential threats. A data classification template has been developed that allows you to detail the corresponding classes, enter specific data elements, and cut off unused classes or their subclasses. Based on ontological representations of protected data and actual threats, in accordance with the security policy, an ontological model of the protection tools implemented in the developed system is built. The languages for describing metadata are discussed. It is suggested to use the methods of obfuscation and text steganography to protect the XML document. An algorithm of the modified obfuscation method with random sampling of a part of the code is proposed. A block diagram of an algorithm suitable for the design of metadata protection facilities is constructed. Explanation of the decision to not use the XML document as a stegocontainer is made. Recommendations on the method and sequence of application of ontological metadata protection methods were developed. A description is also given of the specifics of the use of methods of obfuscation and text steganography.

**Keywords:** metadata, ontology model, data protection system, XML, obfuscation, steganography, big data.

**Citation:** Vorobjev VI, Monakhova TV. Protection of metadata in XML format [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 253-264. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-253-264.

### References

- [1] *Tauberer J.* What is RDF and what is it good for? Last revised January 2008. – <https://github.com/JoshData/rdfabout/blob/gh-pages/intro-to-rdf.md>.
- [2] *Polovikova ON.* Analyze of XML approach for metadata and ontology description in Semantic Web [In Russian]. - 2015. – <http://izvestia.asu.ru/media/files/issue/9/articles/ru/119-123.pdf>.
- [3] *Chuck Lam.* Hadoop in Action. — Manning Publications Co., Stanford. 2010. — 312 p.
- [4] *Kogalovskiy MR.* [Metadata in computer systems] Metadannyye v komp'yuternykh sistemakh [In Russian]. *Programmirovaniye*. 2013; 39(4): 28-46.
- [5] *Bol'shakov O.* Metadata and application programming [In Russian]. 2011. – <http://codingcraft.ru/metadata.php>.
- [6] *Vorobjev VI, Monakhova TV.* Protection systems design with ontologies [In Russian]. *Proceedings of SPIIRAS*. – 2004; 2(2): 212-215.
- [7] *Gavrilova TA.* Ontological approach to knowledge management in the development of corporate information systems [In Russian]. - *J. News of Artificial Intelligence*. - 2003; 2: 24-30.
- [8] *Borgest NM, Korovin MD.* Ontologies: current state, short review [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2013; 2(8): 49-55. - [http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013\\_2%288%29/7\\_Borgest.pdf](http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013_2%288%29/7_Borgest.pdf).
- [9] Information security of socio-economic systems: monograph [Metamodel' zashchity metadannykh. Informatsionnaya bezopasnost' sotsi-al'no-ekonomicheskikh sistem: monografiya] [In Russian]. Apatova NV, Akinina LN, Boychenko OV, Gerasimova SV and etc. Ed. Doctor of technical sciences, professors O.V. Boychenko. – Simferopol': IP Zuyeva TV, 2017. - 348 p.
- [10] *Monakhova TV.* Ontological model experimental data description [In Russian]. *Proceedings of SPIIRAS*. – 2013; 1(24): 303-312.
- [11] *Monakhova TV.* Data protection system ontological model [In Russian]. *Papers of «Information security» section of All-Russian conference on ballistic support*. Koroljev: 4 CNII MO RF. – 2014.
- [12] *Monakhova TV.* XML-structured data protection [In Russian]. *Proceedings of SPIIRAS*. – 2013; 2(25): 182-189.
- [13] *Alizar A.* Math obfuscation: cryptography program code protection [In Russian]. 2014. - <https://xakep.ru/2014/08/15/crypno-obfuscation/>.

- [14] *Nikolskaya KU, Khlestakov AD*. Obfuscation and program products protection methods [In Russian]. UrFO messenger. Protection in informatics sphere 2015; 2(16) - [https://info-secur.ru>is\\_16/Nikolskaya.pdf](https://info-secur.ru>is_16/Nikolskaya.pdf).
- [15] *Tekin V*. Text steganography [In Russian]. 2004. - <https://www.osp.ru/pcworld/2004/11/169154>.
- [16] *Barilnik SS, Minin IV, Minin OV*. An application of staganography algorithms in modern information systems [In Russian]. III International scientific and technical conference «Information technologies protection actual problems» papers, Krasnoyarsk. 2009. - <https://window.edu.ru/resource/414/67414/files/AProBIT-2009.pdf>.
- 

### Сведения об авторах



**Воробьев Владимир Иванович**, 1942 г. рождения. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт в 1965 г., д.т.н. (1994), профессор, Главный научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. В списке научных трудов более 115 работ в области математического моделирования и информатики.

**Vladimir Ivanovich Vorobjev** (b. 1942) graduated from Hydro-meteorological Institute (St-Petersburg) in 1965, PhD (1994), Professor, Chief Researcher Laboratory of Computing & Information Systems and Programming Technologies of Federal State Institution of Science St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences.

**Монахова Татьяна Вячеславовна**, 1981 г. рождения. Окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) в 2004 г., научный сотрудник 4-го Центрального Научно-исследовательского института Минобороны РФ (Королев). В списке научных трудов 7 работ в области моделирования систем защиты данных.

**Tatjana Vjacteslavovna Monakhova** (b. 1981) graduated St.-Petersburg State Electrotechnical University in 2004, Researcher 4th Central Research and Development Institute of the Russian Defense Ministry, Korolev. She is co-author of 7 publications in the field modeling of systems of data protection.





УДК 004.891.3

## РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

М.А. Грищенко<sup>1,a</sup>, Н.О. Дородных<sup>2,b</sup>, С.А. Коршунов<sup>1,c</sup>, А.Ю. Юрин<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup> ООО «ЦентраСиб», Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>a</sup> makcmg@icc.ru, <sup>b</sup> tualatin32@mail.ru, <sup>c</sup> grey.for@gmail.com, <sup>d</sup> iskander@icc.ru

### Аннотация

Создание интеллектуальных проблемно-ориентированных систем различного назначения, направленных на решение слабоструктурированных задач, остаётся актуальной проблемой, эффективность решения которой может быть повышена путём совершенствования подходов (методологий) или создания специализированного программного обеспечения. В работе описывается подход к разработке интеллектуальных диагностических систем, включая базы знаний, на основе онтологических моделей. В качестве методологической основы используется модельно-управляемый подход, в рамках которого произведено переопределение основных этапов, уточнены модели, определены правила трансформации и средства реализации. Реализация предлагаемого подхода осуществлена на примере создания диагностических систем. Под диагностированием понимается определение состояния объекта, в том числе: контроль состояния, поиск места и определение причин нарушения функционирования (отказ, неисправность), прогнозирование состояния. Объекты, подвергаемые диагностированию, описываются в виде последовательности состояний, где состояние – это множество параметров объекта и их значений в заданный момент времени. Особенностью реализации подхода является использование: онтологии в качестве вычислительно-независимой модели, описывающей особенности решаемой задачи; оригинального визуального языка моделирования правил (Rule Visual Modeling Language) для описания платформо-независимых и платформо-зависимых моделей и языка программирования C Language Integrated Production System. Описан пример применения подхода с использованием прототипов программных средств: Knowledge Base Development System и Personal Knowledge Base Designer.

**Ключевые слова:** модельно-ориентированный подход, интеллектуальная система, база знаний, онтология, правила, концептуальная модель.

**Цитирование:** Грищенко М.А. Разработка диагностических интеллектуальных систем на основе онтологий / М.А. Грищенко, Н.О. Дородных, С.А. Коршунов, А.Ю. Юрин // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.265-284. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.

### Введение

В настоящее время разработка проблемно-ориентированных интеллектуальных систем (ИС), направленных на решение сложных, специфических задач (например, в области диагностирования сложных технических систем, прогнозирования чрезвычайных ситуаций, энергетической безопасности, в медицине и т.д.) остаётся актуальной задачей [1-5]. Повышение эффективности создания программного обеспечения (ПО) подобного вида может быть достигнуто путём совершенствования подходов (методологий) к разработке специализированного инструментария. Одной из тенденций в этой области является использование визуальных информационных (концептуальных) моделей, в том числе онтологий [6-8] и специальных программных инструментов в виде редакторов для концептуального (например, ИМС SmartTools и др.) или онтологического моделирования (например, Protégé, OntoStudio, OntoEdit, FluentEditor, WebOnto, OntoMap и др.). Данные системы позволяют разрабатывать модели, соответствующие знаниям эксперта какой-либо предметной области (ПрО). Однако

большинство из них не охватывает все этапы создания ИС и не обеспечивает полноты процесса разработки: от моделей ПрО до программных кодов, в некоторых случаях позволяя получать только графические артефакты (изображения) структур баз знаний (БЗ). Исключением является система Protégé, которая позволяет не только моделировать онтологии разной сложности, но и обеспечивает интеграцию разработанных онтологий с правилами в форматах Jess [9] (с использованием специального плагина JessTab [10]) или SWRL [11] (при помощи плагина SWRLTab [12]). При этом необходимо отметить, что данная система ориентирована на специалистов в области инженерии знаний, знакомых с существующими моделями и языками представления знаний (ЯПЗ). Таким образом, создание специализированного алгоритмического и программного обеспечения, поддерживающего не только моделирование знаний (в том числе в форме онтологий), но и генерацию программных кодов и приложений на основе построенных моделей, является актуальным.

## **1 Разработка ИС на основе онтологий и модельно-управляемого подхода**

### **1.1 Краткий обзор работ**

В работе Загорулько Ю.А. [13] предлагается технология построения ИС, ориентированная на экспертов и базирующаяся на специализированных оболочках, настроенных на определённые области знаний и классы задач. В качестве базиса представления знаний предлагается интегрированная модель с ведущей ролью онтологий. В [14] обсуждается проект компонентного проектирования ИС (OSTIS) на основе открытых семантических технологий (моделей и языков). В [15] описывается подход к разработке семантических информационных систем, в архитектуру которых предложено ввести «вариативную часть» в виде онтологии, определяющей специфику ПрО, методов и задач. В [16] предлагается подход к проектированию систем управления на основе трансформаций онтологий (онтологических описаний управляющего приложения на основе функциональных блоков IEC 61499). В [17] описывается проект «умного города» – «DIMMER», основанный на использовании онтологий и направленный на предоставление гибкой интернет-платформы для разработки приложений, сбора и интеграции данных, используя информацию о зданиях и сооружениях, энергетических сетях и т.д. В [18] представлена концепция, на основе спецификации MDA (Model Driven Architecture), для реализации проекта совместимых производственных систем знаний (IMKS). Центральным элементом в данной концепции являются онтологии, в частности производственная онтология (Manufacturing Core Ontology), которая используется как платформо-независимая модель в цепочке преобразований моделей. В [19] предлагается фреймворк «Smart Modeller» для онтологического проектирования ПО (средство входит в проект – SOFIA). Фреймворк ориентирован на программистов и включает в себя более гибкие и производительные средства для онтологического моделирования на основе гибридизации дескрипционной логики с шаблонами SPARQL. В [20] предложен инструмент (среда) для разработки ПО в области здравоохранения, и в частности – системы администрирования пациентов, с использованием онтологий. Архитектура инструмента состоит из трёх слоев: слой онтологий, агентов/ЯПЗ и приложений – RDQL, генераторы кода, редакторы онтологий. В [21] предлагается система поддержки проектирования (анализа и визуализации) ирригационного трубопровода на основе онтологии. В [22] описывается интеллектуальная система медицинских рекомендаций по клинической практике для лечения сахарного диабета, основанная на онтологии ПрО. Анализ этих и подобных исследований [23-30] показал широкое использование онтологий, а также принципов концептуального, визуального моделирования и

проектирования, в частности, модельно-ориентированного подхода (Model Driven Engineering - MDE) [31] и его реализаций.

MDE (или Model Driven Development - MDD) – это подход к разработке ПО, использующий информационные модели в качестве основных артефактов, которые, в свою очередь, могут быть использованы для получения других моделей (например, с более высокой детализацией) и генерации программных кодов [32, 33]. Одной из самых известных инициатив MDE является подход MDA [34], спецификации которого стандартизованы консорциумом OMG (Object Management Group). Разработка теории и инструментов для создания ПО на основе отображения онтологий осуществляется в рамках таких направлений MDE/MDD как: Ontology Driven Architecture (ODA) [35] и Ontology Driven Software Engineering (ODSE) [36]. Данные направления основаны на исследованиях взаимодействия методов и средств программной инженерии с семантическими технологиями.

В данной работе предлагается повысить эффективность разработки проблемно-ориентированных ИС путём автоматического анализа и трансформации онтологических моделей ПрО с использованием принципов MDA/MDD-подхода. В качестве ПрО выбраны диагностические ИС для определения причин повреждения и разрушения конструкционных материалов в нефтехимии. Под диагностированием понимается определение состояния объекта, в том числе: контроль состояния, поиск места и определение причин нарушения функционирования (отказ, неисправность), прогнозирование состояния. Объекты, подвергаемые диагностированию, описываются в виде последовательности состояний, где состояние – это множество параметров объекта и их значений в заданный момент времени. Параметры объектов могут быть как числовыми, так и качественными, последний тип преобладает в связи со слабой структурированностью ПрО. Динамика состояний может быть структурирована в виде классов состояний (событий), обусловленных этапами/стадиями жизненного цикла объекта, этапами развития физических (физиологических) процессов и т.п. и представлена в виде причинно-следственных отношений, формирующих цепочки [4].

## 1.2 Постановка задачи

В данной работе онтологические модели использованы в качестве исходных артефактов в процессе создания диагностических ИС. С формальной точки зрения, необходимо обеспечить преобразование онтологических моделей в программные коды и спецификации, то есть определить оператор преобразования:

$$(1) \quad T : Ont \rightarrow Code ,$$

где *Ont* – онтологическая модель; *Code* – программный код и спецификации БЗ и ИС, т.е.:  $Code = \langle KB, IS \rangle$ .

В последнее время активно развиваются автоматизированные методы формирования онтологий на основе различных информационных источников: баз данных, электронных таблиц и текстовых документов, концептуальных моделей (схем, диаграмм, концепт-карт) и т.д. Подобные методы позволяют повторно использовать большие объёмы накопленной разнородной информации. Принимая во внимание данный аспект, предлагается дополнить разрабатываемый подход этапом автоматического формирования онтологий на основе анализа и преобразования концептуальных моделей ПрО.

Обобщённая концептуальная схема предлагаемого подхода к созданию проблемно-ориентированных ИС на основе онтологий показана на рисунке 1.

В качестве целевого языка программирования выбран CLIPS (C Language Integrated Production System) [37] - широко используемый язык и инструментальная среда для разработки продукционных экспертных систем.

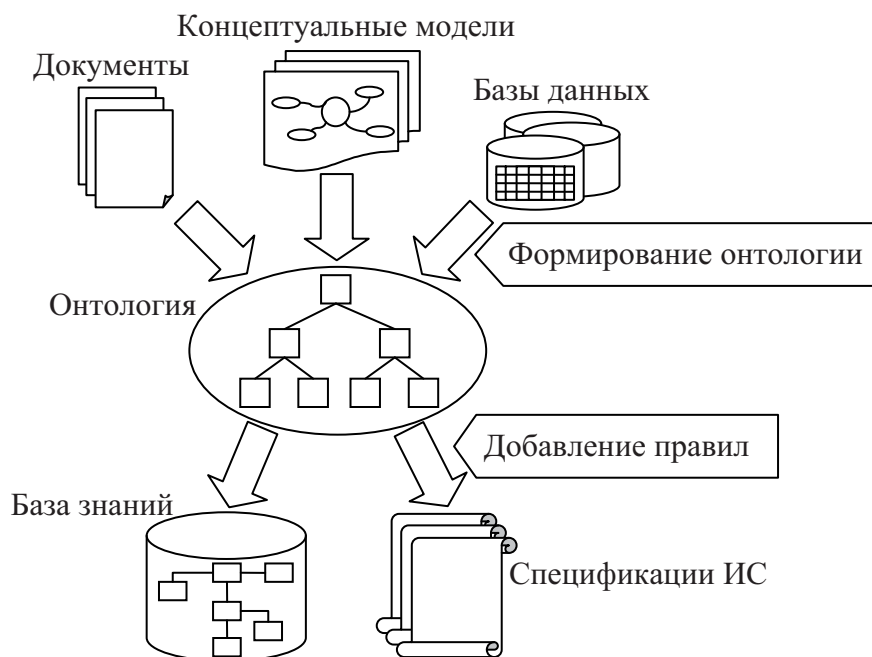


Рисунок 1 - Концептуальная схема предлагаемого подхода

Реализацию подхода предлагается осуществить на основе авторского ПО:

- веб-ориентированной программной системы – Knowledge Base Development System (KBDS), основной задачей которой является генерация онтологий на основе трансформации различных концептуальных моделей [38];
- специализированного настольного редактора – Personal Knowledge Base Designer (PKBD) [39, 40], основной задачей которого является поддержка MDA/MDD-подхода и автоматическая генерация CRUD-интерфейса для БЗ.

Тогда уточним (1):  $KB = CLIPS$ ,  $IS = PKBD$ , где *CLIPS* – программные коды на CLIPS, *PKBD* – спецификация модели ИС для интерпретатора PKBD.

Предлагаемый подход включает модели, методы и программные средства, в том числе, правила и алгоритмы для преобразования элементов онтологии в программные коды.

### 1.3 Основные этапы предлагаемого подхода

**Этап 1:** Формирование онтологии ПрО.

Основным результатом данного этапа являются онтологические модели. С точки зрения MDA-подхода этот этап соответствует стадии создания вычислительно-независимой модели (Computation Independent Model - CIM). CIM описывает то, что должна делать система, но скрывает все описания, связанные с реализующими технологиями, чтобы обеспечить максимальную независимость модели от способов реализации. В сущности, CIM представляет собой часть технического задания, описывающую модель ПрО и элементы программной системы. В предлагаемом подходе CIM реализована в форме онтологии. Так как класс создаваемых систем известен априори, то пользователю необходимо построить только онтологию ПрО, которая содержит основные понятия, их свойства и отношения. С точки зрения стандартной методологии разработки систем, основанных на знаниях [41], этот этап соответствует этапам идентификации, получения и концептуализации знаний.

Для решения задач данного этапа могут быть использованы инструменты онтологического моделирования (например, Protégé и др.). В статье предлагается автоматизировать дан-

ный этап при помощи средств KBDS, который позволяет создавать программные компоненты (модули-конверторы) ИС, обеспечивающие автоматическое формирование онтологий на основе преобразования различных концептуальных моделей, представленных в XML-подобных форматах. В частности, это могут быть диаграммы классов UML (Unified Modeling Language) в формате XMI или концепт-карты IHMC StarTools в формате XTM. Таким образом, расширим (1):

$$(2) \quad T : CM \rightarrow Ont \rightarrow Code ,$$

где  $CM$  – исходная концептуальная модель.

Формализованное описание структуры онтологической модели представлено в [42]. Данная модель позволяет абстрагироваться от особенностей описания знаний в различных ЯПЗ, используемых при реализации онтологий, и хранить знания в собственном независимом формате. При этом KBDS предоставляет дополнительную возможность выгрузки (экспорта) сформированной онтологической модели в формат OWL [45]. Таким образом, разработанные на основе концептуальных моделей онтологии могут быть использованы в других приложениях.

**Этап 2:** Разработка онтологий и правил.

Основными результатами данного этапа являются формализованные описания элементов производственной модели БЗ и ИС. С точки зрения MDA-подхода этот этап соответствует стадии создания платформо-независимой модели (Platform Independent Model - PIM). В предлагаемом подходе PIM описывает логические правила (продукции), которые получены в результате автоматизированного преобразования CIM. Таким образом, таксономия онтологических понятий преобразуется в набор фактов и элементов правил (таких как условия и действия), а причинно-следственные отношения преобразуются в правила. Фактически, осуществляется комбинация онтологических знаний с правилами. PIM обеспечивает достаточную степень независимости от средств реализации, чтобы в дальнейшем её отобразить на одну или несколько программных платформ.

Визуальное моделирование является одним из основных аспектов методологии MDA/MDD. При этом MDA традиционно использует язык UML [44]. Однако UML не предназначен для наглядного и однозначного представления причинно-следственных связей в виде правил. Для устранения данного недостатка предлагается использовать оригинальную авторскую графическую нотацию – Rule Visual Modeling Language (RVML) [45] для визуального представления логических правил (продукций). Эта нотация позволяет описывать причинно-следственные связи, абстрагируясь от особенностей конкретных языков программирования БЗ производственного типа.

**Этап 3:** Платформо-ориентированная модификация производственной модели БЗ.

Основными результатами данного этапа является платформо-ориентированное (ориентированное на определённый ЯПЗ) описание элементов производственной модели БЗ. С точки зрения MDA-подхода этот этап соответствует стадии создания платформо-зависимой модели (Platform Specific Model, PSM). PSM объединяет спецификации в PIM с деталями, необходимыми для определения того, как система использует определённый тип платформы. PSM позволяет учитывать особенности определённого ЯПЗ (в нашем случае - это CLIPS), такие как приоритеты правил, значения «по умолчанию» для слотов и т.д. Для построения PSM также используется RVML. С точки зрения стандартной методологии разработки систем, основанных на знаниях [41], этапы 2 и 3 соответствуют формализации знаний.

**Этап 4:** Генерация программных кодов и спецификаций.

Основными результатами этого этапа являются код БЗ в формате CLIPS и спецификация модели ИС для интерпретатора PKBD. При этом существует возможность получения спецификаций в двух формах:



- в виде типизированных текстовых файлов (см. таблицы 1, 2) - используется для совместимости с более ранними разработками авторов, в частности, с программной системой для поддержки проведения экспертизы промышленной безопасности [46];
- в виде XML-файлов (таблица 3) формата PKBD.

Таблица 1 - Структура типизированного файла для описания шаблона факта

<i>Элемент файла</i>	<i>Описание</i>	<i>Пример</i>
<b>[Metadata]</b>	Заголовок файла	<b>[Metadata]</b>
;description	Описание шаблона	;Наблюдаемые повреждения
tempale_name= <template name>	Имя шаблона, поле используется для синтеза графического пользовательского интерфейса и программных кодов	tempale_name=Damage
edited_by_user= <No Yes>	Инструкция для генератора пользовательского интерфейса, определяющая возможность создания форм редактирования для данного шаблона	edited_by_user=No
<b>[Fields]</b>	Заголовок раздела описания слотов шаблона	<b>[Fields]</b>
<slot_name>= <datatype>	Описание слота, где <slot_name> – внутреннее имя, используемое для генерации графического пользовательского интерфейса и кодов на CLIPS; <datatype> = string   integer   float   <имя_переменной_из_списка_значений>, где <имя_переменной_из_списка_значений> = <значение>; ...; <значение> определяется в разделе «Values»	dam-type=string dam-orientation=val3:1
<b>[Captions]</b>	Заголовок раздела для наименований слотов шаблона, которые отображаются на пользовательских формах и используются для мультязыковой поддержки	<b>[Captions]</b>
<slot_name> = <name>	Описание слота	form=Exist damage dam-type=Type of the damage
<b>[Values]</b>	Заголовок раздела описания возможных значений слотов	<b>[Values]</b>
<value_name> = <value_1>, ..., <value_N>	Описание возможных значений слотов	Val3:1=LONGITUDINAL, CROSS-SECTION

Таблица 2 - Структура типизированного файла для описания шаблона правила

<i>Элемент файла</i>	<i>Описание</i>	<i>Пример</i>
<b>[Generalized rules]</b>	Заголовок файла	<b>[Generalized rules]</b>
#<Name of the process>	Наименование деградационного процесса, который описывается правилом. Данное имя отображается на формах пользователя.	#Corrosion cracking
##<Name of the process modification>	Наименование модификации процесса или подпроцесса. Данное имя отображается на формах пользователя.	##1
<rule_name> = <title> : <template names from the rule conditions> : <template names from the rule actions>	<rule_name> – имя правила, используемое для синтеза элементов пользовательского интерфейса и кодов CLIPS, <title> – имя правила, отображаемое на формах пользователя, <template names from the rule conditions> = <template_name>, ..., <template_name>.	fail-mechanism-fail-ky = Rule_for defenition_of_the_failure_mechanism: exist-meh-des, exist-des: exist-meh-fail

Таблица 3 - Структура XML-файла формата PKBD

Элемент файла	Описание
<KnowledgeBase/>	Описание БЗ, содержит основные вложенные элементы: <Templates/> – шаблоны фактов; <Facts/> – факты; <Rules/> – правила; <GRules/> – шаблоны правил.
<Template/>	Описание шаблона, содержит вложенные элементы: <ID/> – идентификатор; <Name/> – имя для форм пользователя; <ShortName/> – имя для генератора форм пользователя и кода CLIPS; <Description/> – описание; <Slots/> – слоты.
<Slot/>	Описание слота, содержит вложенные элементы: <Name/> – имя для форм пользователя; <ShortName/> – имя для генератора форм пользователя и кода CLIPS; <Description/> – описание; <Value/> – значение, в зависимости от принадлежности слота шаблону или факту, это может быть либо значение «по умолчанию», либо фактическое значение; <DataType/> – тип данных; <Constraint/> – ограничение на значение.
<Fact/>	Описание факта аналогично описанию шаблона.
<GRule/>	Описание шаблона правила, содержит вложенные элементы: <ID/> – идентификатор; <Name/> – имя для форм пользователя; <ShortName/> – имя для генератора форм пользователя и кода CLIPS; <Description/> – описание; <Salience/> – важность правила или его приоритет; <Conditions/> – описание условий; <Actions/> – описание действий.
<Rule/>	Описание правила аналогично описанию шаблона правила.

**Эман 5:** Тестирование БЗ и ИС.

На данном этапе полученные программные коды и спецификации тестируются в PKBD с использованием встроенной машины вывода CLIPS. Пользователь (эксперт Про) разрабатывает только CIM и PIM. При разработке PSM требуется участие специалиста в области инженерии знаний. Описанная последовательность этапов концептуально совпадает со «стандартным» подходом MDA, но содержимое этапов переопределяется в соответствии со спецификой создания БЗ и ИС.

**1.4 Преобразования моделей**

Процесс разработки ПО на основе MDA-подхода представляет собой последовательность модельных преобразований от более абстрактных моделей к менее абстрактным:  $CIM \rightarrow PIM \rightarrow PSM \rightarrow Code$ . В соответствии с предлагаемой последовательностью этапов создания БЗ и ИС, модельные преобразования выглядят следующим образом:  $CM \rightarrow Ont \rightarrow RVML \rightarrow Code$ .

Уточним операторы преобразования из (1) и (2):

$$(3) \quad T = \langle T_{CM-ONT}, T_{ONT-RVML}, T_{RVML-Code} \rangle, \quad T_{CM-ONT} : M^{XML} \rightarrow M^{ONT}, \\ T_{ONT-RVML} : M^{ONT} \rightarrow M^{RVML}, \quad T_{RVML-Code} : M^{RVML} \rightarrow Code,$$

где  $T_{CM-ONT}$  – это оператор преобразования исходной концептуальной модели в онтологию;  $T_{ONT-RVML}$  – оператор преобразования онтологии в RVML-модель;  $T_{RVML-Code}$  – оператор преобразования RVML-модели в целевой код;  $M^{XML}$  – представление исходной концептуальной модели в виде XML-документа;  $M^{ONT}$  – онтологическая модель;  $M^{RVML}$  – RVML-модель для представления логических правил (продукций);  $Code$  – программный код БЗ и спецификации ИС.

Преобразование моделей представляет собой автоматическую генерацию целевой модели из исходной модели в соответствии с набором правил преобразования. Правило

преобразования – это описание того, как одна или несколько конструкций на исходном языке могут быть преобразованы в одну или несколько конструкций на целевом языке [34]. Можно выделить ряд основных направлений в области модельных трансформаций [47]:

- использование языков трансформации моделей общего назначения, например, Query/View/Transformation (QVT), ATLAS Transformation language (ATL), Epsilon и др.;
- использование языков, основанных на графовых грамматиках, например, Visual Automated model TRAnsformations (VIATRA2), Graph REwriting And Transformation (GReAT), Henshin и др.;
- использование языков для преобразования XML-документов, например, eXtensible Stylesheet Language Transformations (XSLT), XQuery и др.;
- использование декларативных и процедурных языков программирования.

В предлагаемом подходе оператор  $T_{CM-ONT}$  реализуется с помощью декларативного предметно-ориентированного языка – Transformation Model Representation Language (TMRL) [48]. Данный язык используется в KBDS и описывает модель (сценарий) трансформации, представляющую собой совокупность правил преобразования (установленных соответствий между элементами исходной и целевой метамодели) с определённым приоритетом (очередностью) выполнения каждого правила.

Формирование онтологических моделей на основе преобразования концептуальных предметных моделей и последующим экспортом в OWL-формат можно представить в виде следующей последовательности действий (см. рисунок 2).

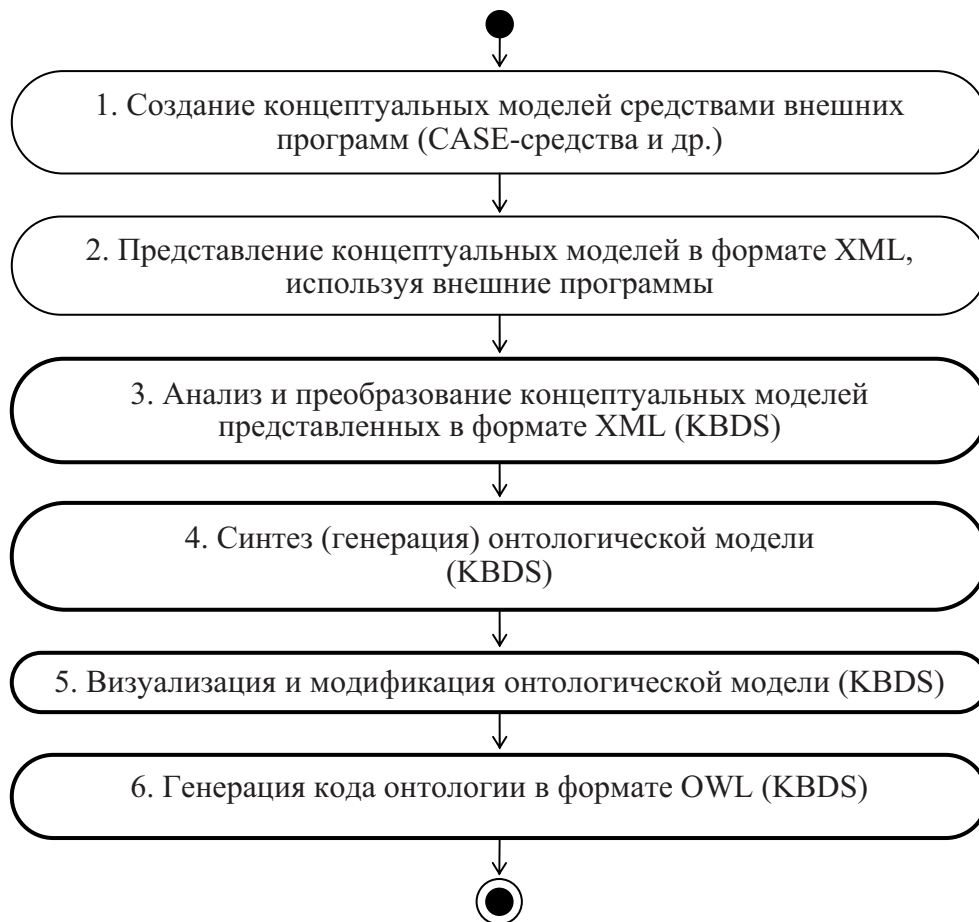


Рисунок 2 - Процесс формирования OWL-онтологий

- 1) пользователь (эксперт) создаёт концептуальную модель с использованием «предметных» нотаций, представляющих собой удобный и понятный для специалиста-предметника способ представления знаний (например, концептуальные карты, интеллект-карты или карты знаний, диаграммы Венна и Исикавы, деревья событий, отказов и др.).
- 2) происходит автоматическое представление и сохранение построенных концептуальных моделей в формате XML. Для этой цели могут использоваться различные программные средства (редакторы), в частности CASE-средства, которые позволяют сохранять эти концептуальные модели в XML-подобных форматах.
- 3) построенная модель импортируется (загружается) в KBDS, где при помощи специального программного компонента (модуля-конвертора) осуществляется анализ XML-структуры концептуальной модели, в результате которого автоматически извлекаются понятия ПрО, их свойства и отношения.
- 4) автоматически генерируется онтологическая модель на основе извлечённых понятий и отношений.
- 5) полученную онтологическую модель можно модифицировать и визуализировать, используя специальный графический редактор, входящий в состав KBDS.
- 6) генерируется код онтологии в формате OWL (в данной работе рассматривается генерация OWL-кода, соответствующего синтаксису RDF/XML).

Преобразования  $T_{ONT-RVML}$  и  $T_{RVML-Code}$  реализованы с помощью процедурных языков программирования и скрыты от пользователя.

Предлагаемый подход реализуется в виде прототипов программных средств: KBDS [38] и РКВД [39, 40], которые взаимодействуют через API. При этом KBDS обеспечивает полную поддержку этапов 1 и 2 предлагаемого подхода и генерацию OWL-онтологий. РКВД обеспечивает частичную поддержку этапов 2-5, а также генерацию и интерпретацию спецификаций ИС и кодов БЗ.

## 2 Применение подхода к разработке диагностической ИС в нефтехимии

Основной причиной повреждения и разрушения конструкционных материалов в нефтехимическом оборудовании являются деградиационные процессы (ДП), представляющие собой физико-химические процессы, обусловленные как различными технологическими процессами, так и структурными, производственными и эксплуатационными нарушениями, которые вызывают отказы механических и нефтехимических систем или аппаратов [49]. Каждый ДП характеризуется механизмом и кинетикой. Механизм ДП представляет собой набор свойств технологического объекта и влияющих факторов. Описание кинетики включает в себя: события, параметры событий, функциональные отношения для определения параметров события в определённый момент времени.

**Пример этапа 1.** Формирование онтологии ПрО осуществляется с использованием концептуальной модели динамики технических состояний [50]. В качестве источника концептуальных моделей в виде концептуальных карт использовалось ИМС SmartTools. Построенные концепт-карты описывают различные виды ДП на стадиях повреждения, разрушения и отказа. Фрагмент концепт-карты, описывающий таксономию понятия технического объекта, представлен на рисунке 3.

Фрагменты анализируемых концепт-карт, описывающих механизм ДП «водородное охрупчивание» и его кинетику на стадии повреждения, представлены на рисунках 4 и 5. При этом иерархия понятий описывается путём установления явного отношения «имеет подкласс», а отношения типа «имеет свойство» и «имеет» обозначают наличие явных связей

между концептом и его свойством. Все остальные связи могут быть интерпретированы как причинно-следственные отношения.

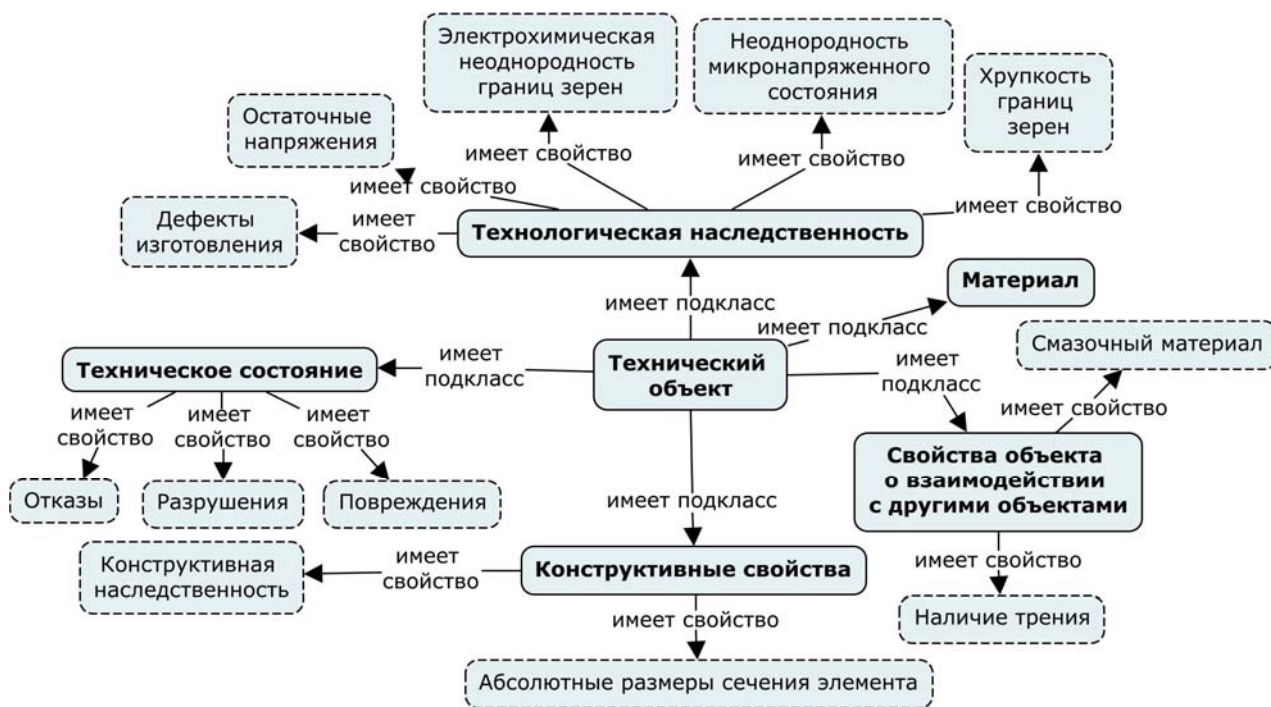


Рисунок 3 - Фрагмент концепт-карты описания технического объекта

Сформированные концепт-карты сохранялись в виде XML-документов. Понятия, их свойства и отношения, извлечённые из данных XML-документов, отображались в онтологическую модель. Полученная онтология представлена и модифицирована с использованием визуального редактора онтологических моделей KBDS (см. рисунок 6).

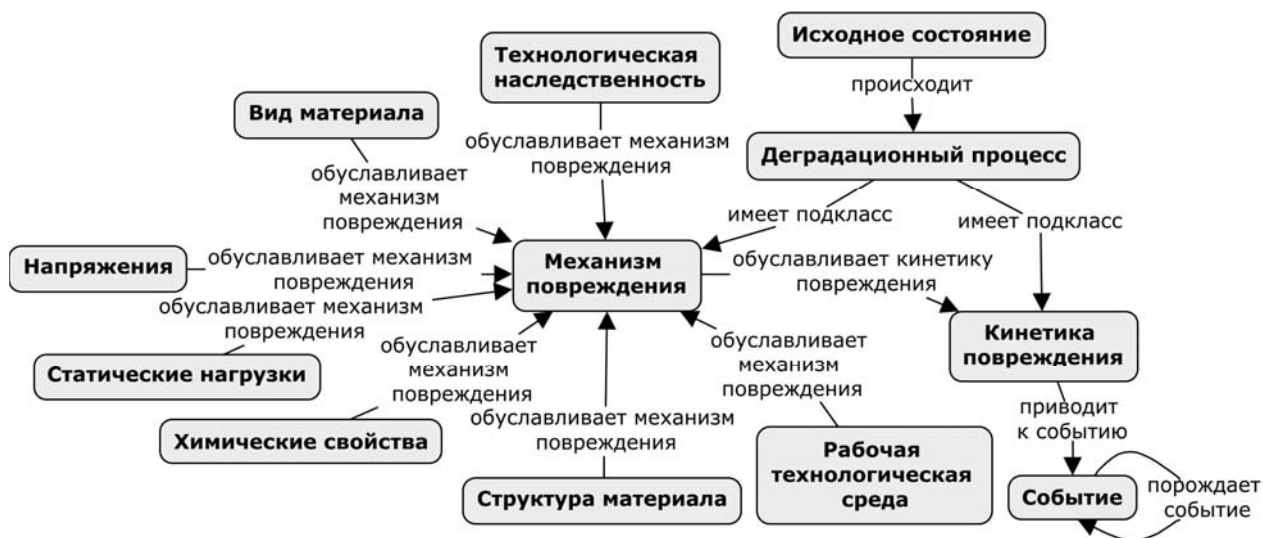


Рисунок 4 - Фрагмент концепт-карты структуры ДП



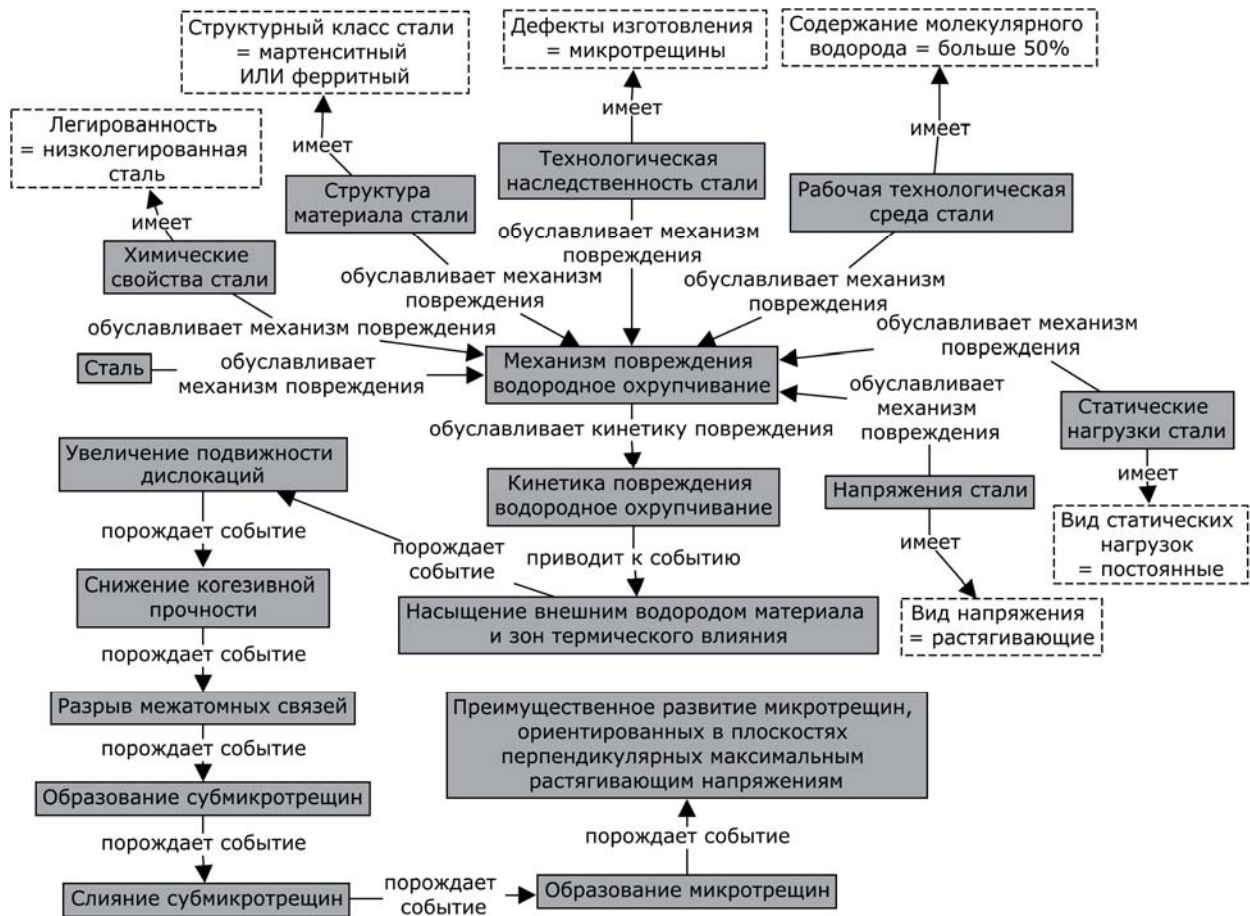


Рисунок 5 - Фрагмент концепт-карты, конкретизирующей ДП «водородное охрупчивание»

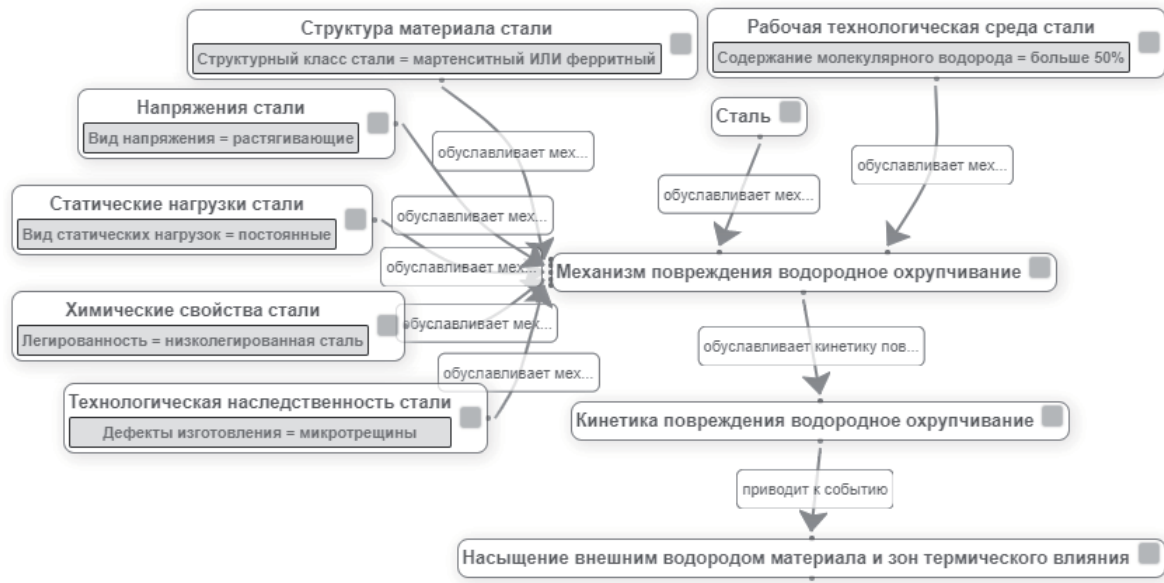


Рисунок 6 - Фрагмент полученной онтологической модели (визуальный редактор онтологий KBDS)

Средствами KBDS сформированная онтологическая модель может быть экспортирована в формат OWL. Фрагмент сгенерированного OWL-кода (описание классов, объектных свойств и свойств значений), соответствующего рисункам 3-5, представлен ниже.

```

<owl:Class rdf:about="ВоздействующийФактор" />
<owl:Class rdf:about="МеханическиеНагрузки">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="ВоздействующийФактор" />
</owl:Class>
<owl:Class rdf:about="ДеградационныйПроцесс" />
<owl:Class rdf:about="МеханизмПовреждения">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="ДеградационныйПроцесс" />
</owl:Class>
...
<owl:ObjectProperty rdf:about="Происходит">
  <rdfs:domain rdf:resource="#ИсходноеСостояние" />
  <rdfs:range rdf:resource="#ДеградационныйПроцесс" />
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="ОбуславливаетМеханизмПовреждения">
  <rdfs:domain>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <rdf:Description rdf:about="ВидМатериала" />
        <rdf:Description rdf:about="ХимическиеСвойства" />
        <rdf:Description rdf:about="СтруктураМатериала" />
        <rdf:Description rdf:about="ТехнологическаяНаследственность" />
        <rdf:Description rdf:about="РабочаяТехнологическаяСреда" />
        <rdf:Description rdf:about="СтатическиеНагрузки" />
        <rdf:Description rdf:about="Напряжения" />
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </rdfs:domain>
  <rdfs:range rdf:resource="#МеханизмПовреждения" />
</owl:ObjectProperty>
...
<owl:DatatypeProperty rdf:about="СодержаниеМолекулярногоВодорода">
  <rdfs:domain rdf:resource="#РабочаяТехнологическаяСреда" />
  <rdfs:range rdf:resource="xsd:string" />
</owl:DatatypeProperty>
...
<МеханизмПовреждения rdf:about="МеханизмПоврежденияВодородноеОхрупчивание">
  <ОбуславливаетКинетикуПовреждения
rdf:resource="#КинетикаПоврежденияВодородноеОхрупчивание" />
</МеханизмПовреждения>
<КинетикаПовреждения rdf:about="КинетикаПоврежденияВодородноеОхрупчивание">
  <ПриводитКСобытию
rdf:resource="#НасыщениеВнешнимВодородомМатериалаИЗонТермическогоВлияния" />
</КинетикаПовреждения>

```

**Пример этапов 2-3.** Анализ и интеграция онтологической модели с правилами, визуализация и модификация полученных продукций. В зависимости от типа элемента CIM понятия преобразовываются в факты и правила для дальнейших модификаций пользователем в RVML-редакторе (см. рисунки 7 и 8).

**Пример этапа 4.** Формирование PSM и генерация кода с использованием PKBD включает, с одной стороны, адаптацию диаграмм RVML к CLIPS и генерацию программного кода CLIPS, с другой стороны – синтез спецификаций ИС (см. рисунок 9) для интерпретатора, который обеспечивает генерацию пользовательского интерфейса для создания, чтения, обновления и удаления (CRUD) элементов производственной БЗ (см. рисунок 10) и взаимодействия программных компонентов.



Рисунок 7 - Пример RVML-диаграммы (факты)



Рисунок 8 - Пример RVML-диаграммы (правило)

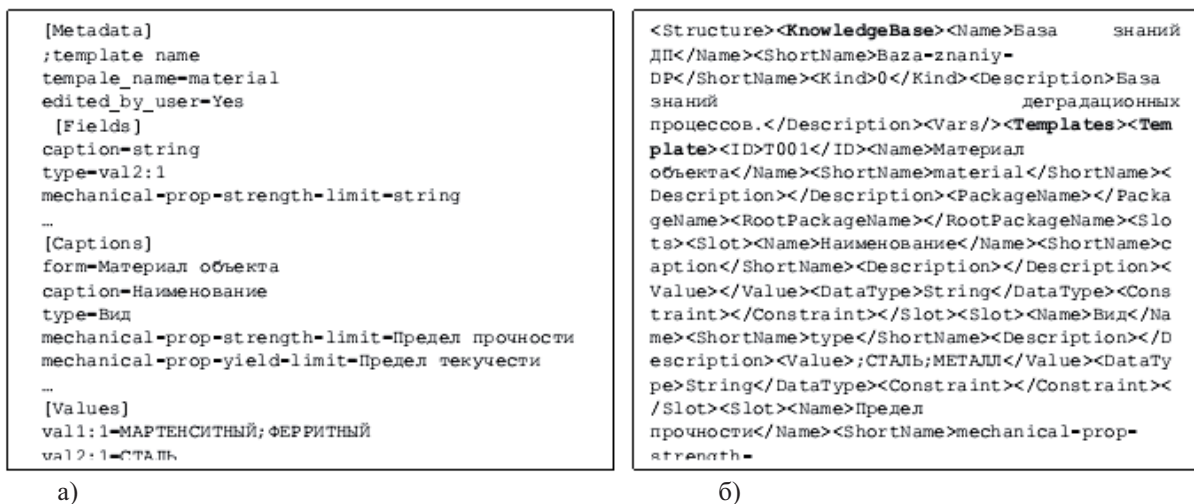


Рисунок 9 - Пример сгенерированных спецификаций: а) типизированный текстовый файл, б) XML-файл

**Пример этапа 5.** Проверка разработанных БЗ и ИС выполняется экспертом с помощью логических правил вывода (см. рисунок 11). Возможен возврат к одному из предыдущих этапов в соответствии с результатами тестирования.

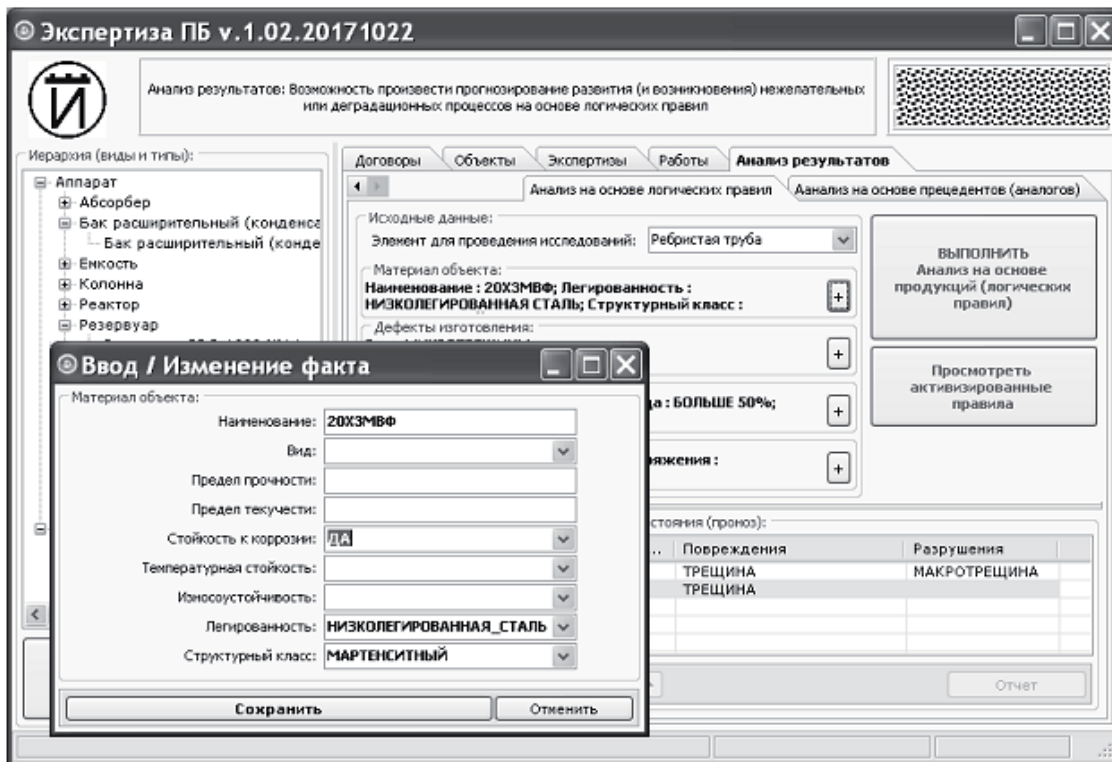


Рисунок 10 - Пример формы, динамически создаваемой на основе спецификаций в программной системе «Экспертиза»

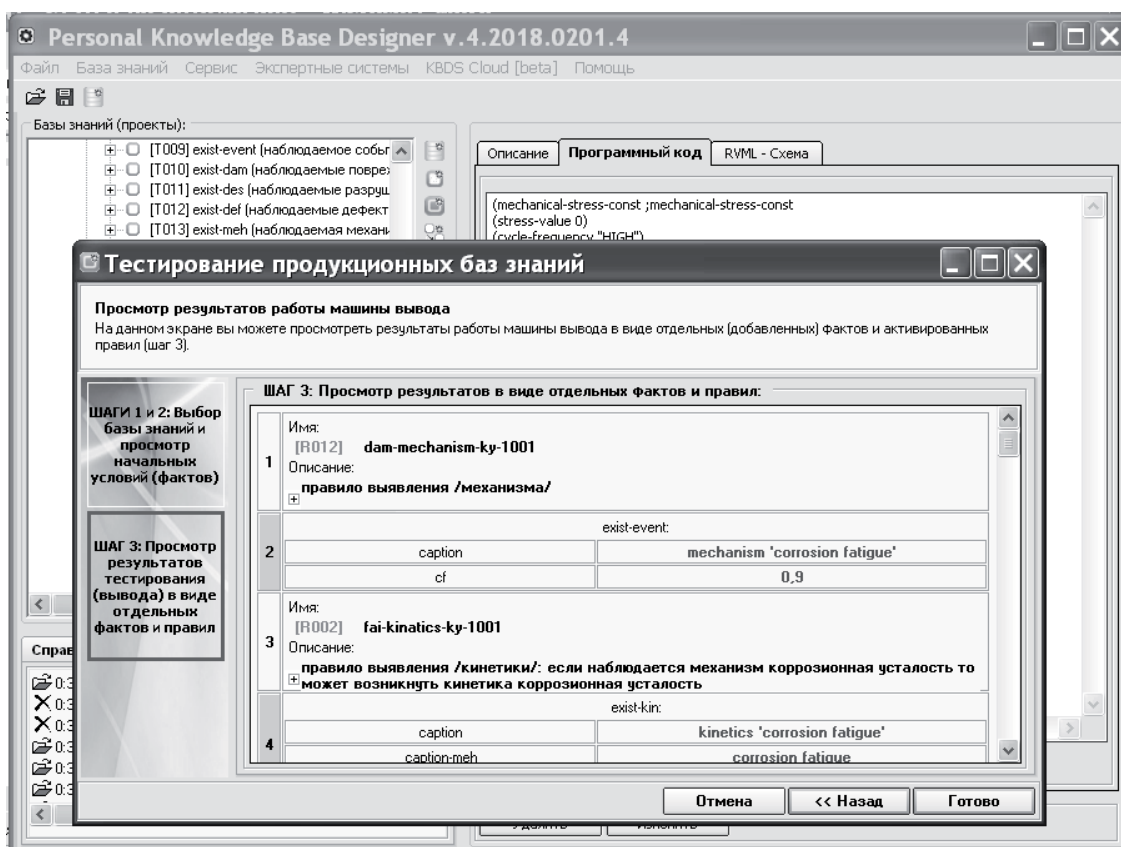


Рисунок 11 - Пример пользовательского интерфейса PKBD: просмотр активированных правил



## Заключение

В статье описан подход к разработке проблемно-ориентированных ИС диагностического типа с использованием онтологий. Предлагаемый подход основан на принципах MDE/MDD/MDA и их модификации в контексте инженерии знаний, на использовании онтологий в качестве вычислительно-независимой модели. Процесс создания онтологии автоматизируется путём анализа и преобразования концептуальных моделей ПрО в виде концепт-карт, представленных в формате XML, с последующей возможностью загрузки сформированных онтологий в формат OWL. В процессе разработки моделей используется RVML, а в качестве целевых платформ – CLIPS и PKBD. Подход позволяет охватить все этапы создания ИС и обеспечивает полноту процесса разработки: от моделей ПрО до программных кодов.

Благодаря использованию онтологий достигается значительное сокращение затрат времени на этапах реализации и устранения ошибок программирования (вследствие автоматической генерации кода), концептуализации и формализации предметных знаний. В качестве средств реализации использованы прототипы программных средств: веб-ориентированной программной системы – KBDS и редактора – PKBD, взаимодействующие через API.

Предложенный подход и ПО были применены при разработке экспериментальной версии проблемно-ориентированной диагностической ИС для определения причин повреждения и разрушения конструкционных материалов в нефтехимии.

## Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 18-37-00006, 18-29-03039.

## Список источников

- [1] *Ноженкова, Л.Ф.* Создание комплексной системы безопасности региона на основе системной интеграции технологий / Л.Ф. Ноженкова, В.В. Ничепорчук, А.И. Ноженков // Информатизация и связь. – 2013. – №2. – С.122-124.
- [2] *Массель, Л.В.* Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике / Л.В. Массель, А.Г. Массель // Вычислительные технологии. – 2013. – Т.18. Специальный выпуск. – С.37-44.
- [3] *Балута, В.И.* Среда моделирования, прогнозирования и экспертиз как интеллектуальное ядро поддержки управления сложными системами / В.И. Балута, В.П. Осипов, О.Ю. Яковенко // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2015. – № 82. – 16 с.
- [4] *Berman, A.F.* A methodology for the investigation of the reliability and safety of unique technical systems / A.F. Berman, O.A. Nikolaychuk, A.Yu. Yurin, A.I. Pavlov // Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2014. – Vol. 228, No. 1. – P.29-38.
- [5] *Ebrahim, A.S.* A structured approach for the diagnosis of formation damage caused by organic scale deposits and surface active agents, Part II: Expert system development / A.S. Ebrahim, A.A. Garrouch, H.M.S. Lababidi // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2016. – Vol. 138. – P.245-252.
- [6] *Starr, R.R.* Concept maps as the first step in an ontology construction method / R.R. Starr, J.M. Parente de Oliveira // Information Systems. – 2013. – Vol. 38. – P.771-783.
- [7] *Gavrilova, T.A.* Ontology design and individual cognitive peculiarities: A pilot study / T.A. Gavrilova, I.A. Leshcheva // Expert Systems with Applications. – 2015. – Vol. 42. – P.3883-3892.
- [8] *Herrero-Zazo, M.* Conceptual models of drug-drug interactions: A summary of recent efforts / M. Herrero-Zazo, I. Segura-Bedmar, P. Martínez // Knowledge-Based Systems. – 2016. – Vol. 114. – P.99-107.
- [9] *Friedman-Hill, E.* Jess in Action: Rule-based Systems in Java / Friedman-Hill E // Manning. – 2003. – 443 p.
- [10] *Eriksson, H.* The JessTab Approach to Protégé and Jess Integration / H. Eriksson // In Proceedings of the IFIP 17th World Computer Congress – TC12 Stream on Intelligent Information Processing, Kluwer, B.V., Dordrecht. – 2002. – P.237-248.



- [11] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. – <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>.
- [12] SWRLtab plugin. – <https://protegewiki.stanford.edu/wiki/SWRLTab>.
- [13] **Загорюлько, Ю.А.** Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области / А.Ю. Загорюлько // Онтология проектирования. – 2015. – Т.5. - №1 (15). – С.30-46.
- [14] **Голенков, В.В.** Принципы построения массовой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина // Материалы международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2011). – Минск: БГУИР. – 2011. – С.21-58.
- [15] **Копайгородский, А.Н.** Применение онтологий в семантических информационных работах / А.Н. Копайгородский // Онтология проектирования. – 2014. – № 4 (14). – С.78-89.
- [16] **Дубинин, В.Н.** Проектирование управляющих приложений на основе трансформации онтологий с использованием языков логического программирования / В.Н. Дубинин, В.В. Вяткин // Труды Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии». – 2012. – вып. 16. – С.6-25.
- [17] **Brizzi, P.** Towards an ontology driven approach for systems interoperability and energy management in the smart city / P. Brizzi, D. Bonino, A. Musetti, A. Krylovskiy, E. Patti, M. Axling // In Processing of the International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech). – 2016. – P.1-7.
- [18] **Chungoora, N.** A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing / N. Chungoora, R.I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N.A. Anjum, A.-F. Cutting-Decellec, J.A. Harding, K. Case // Computers in Industry. – 2013. – Vol. 64, No. 4. – P.392-401.
- [19] **Katasonov, A.** Ontology-driven software engineering: beyond model checking and transformations / A. Katasonov // International Journal of Semantic Computing. – 2012. – Vol. 6, No. 2. – P.205-242. – DOI: 10.1142/s1793351x12500031.
- [20] **Thaddeus, S.** A Semantic Web Tool for Knowledge-based Software Engineering / S. Thaddeus, S.V. Kasmir Raja // In Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE 2006). – 2006. – P.337-342.
- [21] **Tanaka, Y.** Developing Design Support System Based on Semantic of Design Model / Y. Tanaka, K. Tsuda // In Proceedings of the 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES2016. Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 96. – P.1231-1239. – DOI: 10.1016/j.procs.2016.08.167.
- [22] **Chen, R.-C.** A recommendation system based on domain ontology and SWRL for anti-diabetic drugs selection / R.-C. Chen, Y.-H. Huang, C.-T. Bau, S.-M. Chen // Expert Systems with Applications. – 2012. – Vol. 39, No. 4. – P.3995-4006. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.061.
- [23] **Rajput, Q.** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection / Q. Rajput, N.S. Khan, A. Larik, S. Haider // Computer and Information Science. – 2014. – Vol. 7, No. 1. – P.103-114. – DOI: 10.5539/cis.v7n1p103.
- [24] **Shue, L.** The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating / L. Shue, C. Chen, W. Shiue // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36. – P.2130-2142. – DOI: 10.1016/j.eswa.2007.12.044.
- [25] **Nofal, M.** Developing Web-Based Semantic Expert Systems / M. Nofal, K.M. Fouad // International Journal of Computer Science. – 2014. – Vol. 11, No. 1. – P.103-110.
- [26] **Dong, M.** Ontology-based service product configuration system modeling and development / M. Dong, D. Yang, L. Su // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, No. 9. – P.11770-11786. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.03.064.
- [27] **Afacan, Y.** An ontology-based universal design knowledge support system / Y. Afacan, H. Demirkan // Knowledge-Based Systems. – 2011. – Vol. 24, No. 4. – P.530-541. – DOI: 10.1016/j.knosys.2011.01.002.
- [28] **Macek, K.** Ontology-Driven Design of an Energy Management System / K. Macek, K. MaĀík, P. Stluka // In Proceedings of the 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 1st Edition. – 2011. – Vol. 29. – P.2009-2014. – DOI: 10.1016/b978-0-444-54298-4.50180-x.
- [29] **Arsene, O.** Medicine expert system dynamic Bayesian Network and ontology based / O. Arsene, I. Dumitrache, I. Mihu // Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38, No. 12. – P.15253-15261. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.05.074.
- [30] **Parreiras, F.S.** Using ontologies with UML class-based modeling: The TwoUse approach / F.S. Parreiras, S. Staab // Data & Knowledge Engineering. – 2010. – Vol. 69, No. 11. – P.1194-1207. – DOI: 10.1016/j.datak.2010.07.009.

- [31] **Cretu, L.G.** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice / L.G. Cretu, D. Florin // Apple Academic Press. – 2014. – DOI: 10.1201/b17480.
- [32] **da Silva A.R.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model / A.R. da Silva // Computer Languages, Systems & Structures. – 2015. – Vol. 43. – P.139-155. – DOI: 10.1016/j.cl.2015.06.001.
- [33] **Sami, B.** Model-Driven Software Development / B. Sami, B. Book, V. Gruhn // Springer. – 2005. – DOI: 10.1007/3-540-28554-7.
- [34] **Kleppe, A.** MDA Explained: The Model Driven Architecture: Practice and Promise, 1st ed. / A. Kleppe, J. Warmer, W. Bast // Addison-Wesley. – 2003.
- [35] **Djurić, D.** Ontology Modeling and MDA / D. Djurić, D. Gašević, V. Devedžić // Journal of Object technology. – 2005. – Vol. 4, No. 1. – P.109-128. – DOI: 10.5381/jot.2005.4.1.a3.
- [36] **Staab, S.** Model Driven Engineering with Ontology Technologies / S. Staab, T. Walter, G. Gröner, F.S. Parreiras // Reasoning Web. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg. – 2010. – Vol. 6325. – P.62-98. – DOI: 10.1007/978-3-642-15543-7\_3.
- [37] CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. – <http://www.clipsrules.sourceforge.net>.
- [38] **Юрин, А.Ю.** Web-сервис для автоматизированного формирования продукционных баз знаний на основе концептуальных моделей / А.Ю. Юрин, Н.О. Дородных // Программные продукты и системы. – 2014. – №4. – С.103-107.
- [39] **Дородных, Н.О.** Система программирования продукционных баз знаний: Personal Knowledge Base Designer / Н.О. Дородных, М.А. Грищенко, А.Ю. Юрин // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. – 2016. – №6. – С.209-212.
- [40] **Юрин, А.Ю.** Редактор баз знаний в формате CLIPS / А.Ю. Юрин А.Ю., М.А. Грищенко // Программные продукты и системы. – 2012. – №4. – С.83-87.
- [41] **Джексон, П.** Введение в экспертные системы. Пер. с англ. / П. Джексон – М: Вильямс. – 2001. – 624 с.
- [42] **Николайчук, О.А.** Моделирование знаний для исследования динамики технического состояния уникальных объектов / О.А. Николайчук // Проблемы управления. – 2009. - № 4. - С.58–65.
- [43] OWL 2 Web Ontology Language, Document Overview (Second Edition). – <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>.
- [44] **Буч, Г.** Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: Пер. с англ. / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон. – М.: ДМК Пресс. – 2006. – 496 с.
- [45] **Юрин, А.Ю.** Нотация для проектирования баз знаний продукционных экспертных систем / А.Ю. Юрин // Объектные системы. – 2016. – №12. – С.48-54.
- [46] **Берман, А.Ф.** Поддержка принятия решений на основе продукционного подхода при проведении экспертизы промышленной безопасности / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.Ю. Юрин, К.А. Кузнецов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – №11. – С.28-35.
- [47] **Czarnecki, K.** Feature-based survey of model transformation approaches / K. Czarnecki, S. Helsen // IBM Systems Journal. – 2006. – Vol. 45, No. 3. – P.621-645. – DOI: 10.1147/sj.453.0621.
- [48] **Бычков, И.В.** Подход к разработке программных компонентов для формирования баз знаний на основе концептуальных моделей / И.В. Бычков, Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21. – № 4. – С.16-36.
- [49] **Берман, А.Ф.** Деграадация механических систем / А.Ф. Берман. – Новосибирск: Наука. – 1998. – 320 с.
- [50] **Берман, А.Ф.** Интеллектуальная информационная система анализа отказов / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.Ю. Юрин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2012. – № 4. – С.88-96.

## ONTOLOGY-BASED DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC INTELLIGENT SYSTEMS

**М.А. Grischenko<sup>1,a</sup>, N.O. Dorodnykh<sup>2,b</sup>, S.A. Korshunov<sup>1,c</sup>, A.Yu. Yurin<sup>2,d</sup>**

<sup>1</sup>CentraSib LLC, Irkutsk, Russia,

<sup>2</sup>Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS, Irkutsk, Russia,

<sup>a</sup>makcmg@icc.ru, <sup>b</sup>tualatin32@mail.ru, <sup>c</sup>grey.for@gmail.com, <sup>d</sup>iskander@icc.ru

### Abstract

Development of problem-oriented intelligent systems for solving semistructured problems remains a topical problem. The solution efficiency of this problem can be increased by improving approaches (methodologies) or creating special-

ized software. The paper describes an approach for the ontology-based development of diagnostic intelligent systems (including knowledge bases). A model-driven approach is used as a methodological basis with a subsequent redefinition of the main stages, models, transformation rules and means of implementation. The proposed approach is used for development of diagnostic systems in petrochemistry. Diagnosis is considered as the definition of the object's state, including: monitoring the state, finding a location and determining the causes of a failure, forecasting the state. The objects to be diagnosed are presented as a sequence (chain) of states, where the state is a set of parameters and their values at a given time. The features of the proposed approach implementation are the following: the use of ontology as a computation independent model that describes the features of the problem; the use of the Rule Visual Modeling Language to present the platform independent and platform dependent models; the use of C Language Integrated Production System as a programming language and a target platform. An example of the approach application by means of software prototypes called Knowledge Base Development System and Personal Knowledge Base Designer is described.

**Key words:** model-driven approach, intelligent system, knowledge base, ontology, rules, conceptual model.

**Citation:** Grischenko MA, Dorodnykh NO, Korshunov SA, Yurin AY. Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 265-284. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.

## Acknowledgment

The work is partially supported by RFBR grant 18-37-00006, 18-29-03039.

## References

- [1] *Nozhenkova LF, Nicheporchuk VV, Nozhenkov A.* Creating the comprehensive regional safety system based on system integration of technologies [In Russian]. *Informatization and communication*. 2013; 2: 122-124.
- [2] *Massel LV, Massel AG.* Technologies and tools for intelligent decision-making support in extreme situations in the energy sector [In Russian]. *Computational Technologies*. 2013; 13(S1): 37-44.
- [3] *Baluta VI, Osipov VP, Yakovenko OY.* The environment of modeling, forecasting and expertise as the intellectual core of support management complex systems [In Russian]. Moscow: KIAM Preprint. 2015; 82.
- [4] *Berman AF, Nikolaychuk OA, Yurin AY, Pavlov AI.* A methodology for the investigation of the reliability and safety of unique technical systems. Part O: *Journal of Risk and Reliability*. 2014; 228(1): 29-38.
- [5] *Ebrahim AS, Garrouch AA, Lababidi HMS.* A structured approach for the diagnosis of formation damage caused by organic scale deposits and surface active agents, Part II: Expert system development. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2016; 138: 245-252.
- [6] *Starr RR, Parente de Oliveira JM.* Concept maps as the first step in an ontology construction method. *Information Systems*. 2013; 38: 771-783.
- [7] *Gavrilova TA, Leshcheva IA.* Ontology design and individual cognitive peculiarities: A pilot study. *Expert Systems with Applications*. 2015; 42: 3883-3892.
- [8] *Herrero-Zazo M, Segura-Bedmar I, Martínez P.* Conceptual models of drug-drug interactions: A summary of recent efforts. *Knowledge-Based Systems*. 2016; 114: 99-107.
- [9] *Friedman-Hill E.* *Jess in Action: Rule-based Systems in Java*. Manning; 2003.
- [10] *Eriksson H.* The JessTab Approach to Protégé and Jess Integration. In *Proceedings of the IFIP 17th World Computer Congress – TC12 Stream on Intelligent Information Processing*. Dordrecht; 2002: 237-248.
- [11] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. – <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>.
- [12] SWRLtab plugin. – <https://protegewiki.stanford.edu/wiki/SWRLTab>.
- [13] *Zagorulko YA.* Semantic technology for development of intelligent systems oriented to experts in subject domain [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2015; 5(1): 30-46.
- [14] *Golenkov VV, Gulyakina NA.* Principles of construction of mass semantic technology component of intelligent systems [In Russian]. In *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference on Open semantic technologies of intelligent systems (OSTIS-2011)*. Minsk, BGUIR; 2011: 21-58.
- [15] *Kopyagorodsky AN.* Use of ontologies in semantic information systems [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2014; 4(14): 78-89.
- [16] *Dubinina VN, Vyatkin VV.* Designing control applications based on the transformation of ontologies using logical programming languages. In *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference on Contemporary information technologies*. 2012; 16: 6-25.

- [17] **Brizzi P, Bonino D, Musetti A, Krylovskiy A.** Towards an ontology driven approach for systems interoperability and energy management in the smart city. In Processing of the International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech); 2016: 1-7.
- [18] **Chungoora N, Young RI, Gunendran G, Palmer C, Usman Z, Anjum NA, Cutting-Decellec AF, Harding JA, Case K.** A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing. Computers in Industry. 2013; 64(4): 392-401. – DOI: 10.1016/j.compind.2013.01.003.
- [19] **Katasonov A.** Ontology-driven software engineering: beyond model checking and transformations. International Journal of Semantic Computing. 2012; 6(2): 205-242. – DOI: 10.1142/s1793351x12500031.
- [20] **Thaddeus S, Kasmir Raja SV.** A Semantic Web Tool for Knowledge-based Software Engineering. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE 2006); 2006: 337-342.
- [21] **Tanaka Y, Tsuda K.** Developing Design Support System Based on Semantic of Design Model. In Proceedings of the 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2016). Procedia Computer Science. 2016; 96: 1231-1239. – DOI: 10.1016/j.procs.2016.08.167.
- [22] **Chen RC, Huang YH, Bau CT, Chen SM.** A recommendation system based on domain ontology and SWRL for anti-diabetic drugs selection. Expert Systems with Applications. 2012; 39(4): 3995-4006. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.061.
- [23] **Rajput Q, Khan NS, Larik A, Haider S.** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection. Computer and Information Science. 2014; 7(1): 103-114. – DOI: 10.5539/cis.v7n1p103.
- [24] **Shue L, Chen C.** The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating. Expert Systems with Applications. 2009; 36: 2130-2142. – DOI: 10.1016/j.eswa.2007.12.044.
- [25] **Nofal M, Fouad KM.** Developing Web-Based Semantic Expert Systems. International Journal of Computer Science. 2014; 11(1): 103-110.
- [26] **Dong M, Yang D, Su L.** Ontology-based service product configuration system modeling and development. Expert Systems with Applications. 2011; 38(9): 11770-11786. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.03.064.
- [27] **Afacan Y, Demirkan H.** An ontology-based universal design knowledge support system. Knowledge-Based Systems. 2011; 24(4): 530-541. – DOI: 10.1016/j.knosys.2011.01.002.
- [28] **Macek K, MaĀik K, Stluka P.** Ontology-Driven Design of an Energy Management System. In Proceedings of the 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 1st Edition. 2011; 29: 2009-2014. – DOI: 10.1016/b978-0-444-54298-4.50180-x.
- [29] **Arsene O, Dumitrache I, Mihu I.** Medicine expert system dynamic Bayesian Network and ontology based. Expert Systems with Applications. 2011; 38(12): 15253-15261. – DOI: 10.1016/j.eswa.2011.05.074.
- [30] **Parreiras FS, Staab S.** Using ontologies with UML class-based modeling: The TwoUse approach. Data & Knowledge Engineering. 2010; 69(11): 1194-1207. – DOI: 10.1016/j.datak.2010.07.009.
- [31] **Cretu LG, Florin D.** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press; 2014. – DOI: 10.1201/b17480.
- [32] **da Silva AR.** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. Computer Languages, Systems & Structures. 2015; 43: 139-155. – DOI: 10.1016/j.cl.2015.06.001.
- [33] **SamĀ B, Book B, Gruhn V.** Model-Driven Software Development. Springer; 2005. – DOI: 10.1007/3-540-28554-7.
- [34] **Kleppe A, Warmer J, Bast W.** MDA Explained: The Model Driven Architecture: Practice and Promise, 1st ed. Addison-Wesley; 2003.
- [35] **DjuriĀ D, GaševiĀ D, DevedĀiĀ V.** Ontology Modeling and MDA. Journal of Object technology. 2005; 4(1): 109-128. – DOI: 10.5381/jot.2005.4.1.a3.
- [36] **Staab S, Walter T, Gröner G, Parreiras FS.** Model Driven Engineering with Ontology Technologies. Reasoning Web. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg. 2010; 6325: 62-98. – DOI: 10.1007/978-3-642-15543-7\_3.
- [37] CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. – <http://www.clipsrules.sourceforge.net>.
- [38] **Yurin AY, Dorodnykh NO.** A web-service for knowledge base generation on the basis of conceptual models [In Russian]. Software & Systems. 2014; 4: 103-107.
- [39] **Dorodnykh NO, Grischenko MA, Yurin AY.** Software for rule knowledge bases design: Personal Knowledge Base Designer [In Russian]. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. 2016; 6: 209-212.
- [40] **Yurin AY, Grischenko MA.** Knowledge base editor for CLIPS [In Russian]. Software & Systems. 2102; 4: 83-87.
- [41] **Jackson P.** Introduction to Expert Systems. - Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA; 1998.
- [42] **Nikolaychuk OA.** Modeling of knowledge for the study of the dynamics of the technical condition of unique objects [In Russian]. Problems of Control. 2009; 4: 58-65.
- [43] OWL 2 Web Ontology Language, Document Overview (Second Edition). – <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>.



- [44] **Buch G, Rambo D, Yakobson I.** UML language. User Guide. 2nd ed. [In Russian]. Moscow: DMK Press; 2006.
- [45] **Yurin AY.** Notation for design of knowledge bases of rule-based expert systems [In Russian]. Object Systems. 2016; 12: C.48-54.
- [46] **Berman AF, Nikolaychuk OA, Yurin AY, Kuznetsov KA.** Support of decision making based on production approach during industrial safety review [In Russian]. Chemical and Petroleum Engineering. 2014; 11: 28-35.
- [47] **Czarnecki K, Helsen S.** Feature-based survey of model transformation approaches. IBM Systems Journal. 2006; 45(3): 621-645. – DOI: 10.1147/sj.453.0621.
- [48] **Bychkov IV, Dorodnykh NO, Yurin AY.** Approach to the development of software components for generation of knowledge bases based on conceptual models [In Russian]. Computational Technologies. 2016; 21(4): 16-36.
- [49] **Berman AF.** Degradation of mechanical systems [In Russian]. Novosibirsk: Science; 1998.
- [50] **Berman AF, Nikolaychuk OA, Yurin AY.** Intellectual data system for analyzing failures [In Russian]. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2012; 4: 88-96.

## Сведения об авторах



**Грищенко Максим Андреевич**, 1987 г. рождения. Окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрННТУ) в 2010 году. Программист ООО «ЦентраСиб». Автор 15 печатных работ. Сфера научных интересов: базы знаний, системы поддержки принятия решений, экспертные системы.

**Maxim Andreevich Grishchenko** (b. 1987) graduated from Irkutsk National Research Technical University (INRTU) in 2010. He is a programmer of CenterSib LLC and a co-author of 15 publications in the field of knowledge bases and intelligent decision support systems.

**Дородных Никита Олегович**, 1990 г. рождения. Окончил ИрННТУ в 2012 г. Младший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН). В списке научных трудов около 45 работ в области автоматизации разработки интеллектуальных систем и баз знаний, получения знаний на основе трансформации концептуальных моделей.

**Nikita Olegovich Dorodnykh** (b. 1990) graduated from INRTU in 2012. He is an associate researcher of Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS (ISDCT SB RAS). Co-author of about 45 publications in the field of computer-aided development of intelligent systems and knowledge bases, knowledge acquisition based on the transformation of conceptual models.



**Коршунов Сергей Андреевич**, 1991 г. рождения. Окончил ИрННТУ в 2012 г. Программист ООО «ЦентраСиб». Автор 17 печатных работ. Сфера научных интересов: базы знаний, онтологии, системы имитационного моделирования, визуализация.

**Sergey Andreevich Korshunov** (b. 1991) graduated from the INRTU in 2012. He is a programmer of CenterSib LLC. Author of 17 publications in the field of ontologies, simulation modeling systems and visualization.

**Юрин Александр Юрьевич**, 1980 г. рождения. Окончил ИрННТУ в 2002 г., к.т.н. (2005). Заведующий лабораторией ИДСТУ СО РАН, доцент кафедры автоматизированных систем Института высоких технологий ИрННТУ. Автор 72 печатных работ. Проводит исследования в области разработки систем поддержки принятия решений, экспертных систем и баз знаний, использования прецедентного подхода и семантических технологий при проектировании интеллектуальных диагностических систем, обеспечения надежности и безопасности сложных технических систем.

**Alexander Yurievich Yurin** (b.1980) graduated from the INRTU in 2002, PhD (2005). He is Head of a laboratory at ISDCT SB RAS and associate professor of the Department of Automated Systems of the Institute of High Technologies of INRTU. Co-author 72 publications. He conducts research in the field of development of decision support systems, expert systems and knowledge bases, application of the case-based reasoning and semantic technologies in the design of diagnostic intelligent systems, maintenance of reliability and safety of complex technical systems.





УДК 004.822

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

А.В. Семенова<sup>1</sup>, В.М. Курейчик<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, Таганрог, Россия*<sup>1</sup>*alexforum@.ru*, <sup>2</sup>*kur@tgn.sfedu.ru*

### Аннотация

Работа посвящена интеграции данных распределённых гетерогенных информационных источников на основе онтологий. Метод вычисления семантической близости концептов позволяет количественно оценить сходство между понятиями. Предложена технология оценки семантической близости концептов двух онтологий, отличительной особенностью которой является автоматическое определение весовых коэффициентов с использованием метода роя частиц. С помощью предложенного подхода генерируются векторы весовых коэффициентов, которые соответствуют разным коэффициентам семантической близости. Полученные весовые коэффициенты используются для объединения разных коэффициентов семантической близости. Новизна заключается в том, что применённый метод роя частиц позволяет автоматически определять весовые коэффициенты семантической близости концептов двух онтологий. Таким образом, для каждого концепта одной онтологии формируется множество релевантных семантических концептов другой онтологии. Благодаря этому возможно получать наборы оптимальных и квазиоптимальных решений.

**Ключевые слова:** онтология, отображение онтологий, роевой интеллект, базы знаний, многокритериальная оптимизация.

**Цитирование:** Семенова, А.В. Оптимизация отображения онтологий методом роя частиц / А.В. Семенова, В.М. Курейчик // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С. 285-295. – DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-2-285-295.

### Введение

Одним из основных направлений развития современных интеллектуальных информационных систем является разработка новых подходов представления и интеграции знаний. Интеллектуальные информационные системы содержат разнородные базы знаний, которые имеют собственные локальные информационные модели, поддерживаемые разными стандартами представления данных и знаний. Как следствие, на этапе интегрирования разнородных данных возникает множество конфликтов: используется разная терминология при обозначении семантически близких понятий предметной области (ПрО), существует неоднородность спецификаций концептов и др.

Решение проблемы интеграции неоднородной информации возможно путём спецификации конкретной ПрО с последующей проверкой и отображением (*mapping*) понимания различных ПрО. В настоящее время для описания ПрО широко применяется онтологический подход, поскольку онтологические спецификации позволяют задавать точную семантику прикладной области объектов и определять их контекст. Создание общедоступных онтологий ПрО позволяет решить проблему неоднородности онтологических спецификаций для определённых групп агентов. Однако в условиях открытого информационного пространства при решении задач предъявляются различные требования к глубине и степени формализации описания ПрО, используются неоднородные онтологические описания ПрО. Неоднородность онтологических спецификаций появляется на уровнях модельной и понятийной семантики.

Соответственно, задачи отображения онтологических моделей и онтологических контекстов являются актуальными.

Анализ литературы [1-7] позволяет заключить, что задачи объединения (согласование, выравнивание, отображение и т.п.) неоднородных онтологических моделей относятся к классу NP-трудных задач оптимизации и могут быть решены с применением эволюционных алгоритмов поиска оптимальных решений. Свою эффективность уже доказали, например, генетические, муравьиные, пчелиные алгоритмы и алгоритмы, основанные на эволюционном моделировании [1].

В работе для решения задачи отображения онтологий предложено использовать один из эволюционных методов оптимизации – метод роя частиц (МРЧ), который позволяет автоматически определять весовые коэффициенты семантической близости концептов двух онтологий.

## 1 Постановка задачи

Пусть заданы две онтологии  $O_1$  и  $O_2$ , формализующие семантику некоторой ПрО. Причём, элементы онтологий подвержены изменению с течением времени. Изменения носят дискретный характер и вносятся в соответствии с синтаксисом выбранного языка представления онтологий. Обобщив ряд определений, рассматривающих онтологию с точки зрения структуры и элементов, составляющих онтологию, её можно представить как [2]:

$$(1) \quad O = (C, P, R),$$

где:

$O$  – онтология ПрО;

$C$  – множество понятий (классов), определённых для конкретной ПрО;

$P$  – множество свойств понятий;

$R$  – множество отношений, определённых между понятиями в  $C$ .

Отображение онтологии  $O_1 = (C_1, P_1, R_1)$  на онтологию  $O_2 = (C_2, P_2, R_2)$ , означает нахождение для каждого элемента множеств  $C_1, P_1, R_1$ , составляющих онтологию  $O_1$ , подобных элементов из множеств  $C_2, P_2, R_2$  онтологии  $O_2$ . Отображением двух онтологий является множество

$$(2) \quad m = \langle e, e', \mathfrak{R}, k \rangle,$$

где:

$e$  и  $e'$  – элементы множеств  $C, P$  и  $R$ ;

$\mathfrak{R} = \{ \subset, \subseteq, \equiv, \supset, \supseteq \}$  – множество отношений;

$k$  – весовой коэффициент, отражающий степень уверенности относительно корректности конкретного отображения [8].

Процесс отображения онтологий может быть задан функцией  $F$ , на вход которой поступают две онтологии  $O_1$  и  $O_2$ , а на выходе получаем  $|O_1| \times |O_2|$  – матрицу мер близости  $S$ , элементами которой ( $s_{ij}$ ) являются величины меры близости между  $i$ -м элементом онтологии  $O_1$  и  $j$ -м элементом онтологии  $O_2$ . Семантической близостью элементов называется смысловое сходство этих элементов. Семантическая близость может определяться между разными компонентами триплетов. При этом в качестве базовой близости можно рассматривать близость между элементами онтологий (классами, предикатами, терминами).

Процедура отображения заключается в нахождении семантических связей между концептами различных онтологий. Следовательно, центральной задачей отображения онтологий является вычисление меры семантической близости – количественной оценки семантической

схожести онтологических сущностей. Мера семантической близости показывает высокие значения для пар сущностей, которые находятся в семантических отношениях (синонимия, гипонимия, ассоциативность, когипонимия), и нулевые значения для всех остальных пар. Как правило, мера близости между сущностями разных онтологий определяется на нескольких уровнях: лексическая близость, близость атрибутов и отношений, близость экземпляров понятий и другие. Расчёт близости между сущностями в разных онтологиях является итерационным процессом, поскольку многие меры близости двух сущностей основываются на близости других сущностей (понятий, свойств, экземпляров). Очевидно, чем полнее учитываются характеристики двух сущностей, тем качественнее является мера близости. Таким образом, комплексные меры близости, сочетающие несколько подходов, являются наиболее перспективными. Комплексная мера близости рассчитывается как среднее арифметическое значение мер близости с учётом весового коэффициента:

$$(3) \quad S_{CX}(e, e') = \frac{\sum_{i=1}^n w_i s_i(e, e')}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

где:

$s_i$  – мера близости по определённому критерию;

$w_i$  – весовой коэффициент, который определяет важность меры семантической близости (сумма весов равна 1,  $w_i \in [0, 1]$ );

$n$  – число мер близости.

Весовые коэффициенты могут определяться либо экспертами, либо автоматически с помощью обучаемой нейронной сети или эволюционного алгоритма. В случае автоматического определения весовых коэффициентов проблема отображения онтологий может быть решена путём нахождения оптимальных весовых коэффициентов мер семантической близости концептов. Таким образом, задача отображения онтологий может быть решена как задача оптимизации:

$$(4) \quad F(m) = (r(m), p(m)), \quad m = \sum_{i=1}^{m_{set}} w_i m_i,$$

где

$m_{set}$  – множество отображений;

$w_i$  – множество всех возможных весовых коэффициентов, которые использовались для вычисления комплексного отображения;

$F: w_i \rightarrow \delta[0,1]$ ,  $\delta$  – целевая функция, позволяющая оценить качество множества весовых коэффициентов  $w_i$ ;

$r, p: m \rightarrow m[0,1]$  – критерии полноты и точности отображения  $m$ , соответственно.

Точность (*precision*) и полнота (*recall*) являются метриками, которые используются при оценке отображения онтологий. Полнота ( $r$ ) вычисляется как

$$(5) \quad r = \left( \frac{|m_a \cap m_b|}{|m_a|} \right).$$

Точность вычисляется как:

$$(6) \quad p = \left( \frac{|m_a \cap m_b|}{|m_b|} \right),$$

где:

$m_a$  – найденные релевантные отображения;

$m_b$  – общее число релевантных отображений.

Сформулируем задачу многокритериальной оптимизации отображения онтологий:

$$(7) \quad \begin{cases} \max F(W) = (r(W), p(W)), \\ W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T, \\ w_i \in [0,1], w = 1 \dots n, \sum_{i=1}^n w_i = 1, \end{cases}$$

где:

$n$  – число отображений сущностей онтологий  $O_1$  и  $O_2$  (вычисленных мер близости);

$w_i, w = 1, 2, \dots, n$  – весовой коэффициент, который определяет важность  $i$ -й меры семантической близости.

Таким образом, целевая функция – это максимум параметров точности и полноты.

## 2 Краткий обзор работ по теме исследования

Современные методы нахождения отображения онтологий носят, как правило, междисциплинарный характер [3-7]. Среди них можно выделить четыре группы: лингвистические, статистические, структурные и логические методы [9]. Эти методы постоянно развиваются и совершенствуются. Тем не менее, остается ряд открытых вопросов, таких как отображение неоднородных онтологических моделей, автоматизация и оптимизация процесса отображения онтологий и др.

Автоматизации процесса интеграции онтологических моделей посвящены работы [9-12] и др. Существующие методы основаны на вычислении сходства между объектами онтологий путём использования различных типов информации в онтологиях, например, имён сущностей, структур таксономии, ограничений и экземпляров сущностей. Большинство разработанных алгоритмов отображения и выравнивания онтологий основаны на методе генетического программирования.

Л.В. Найхановой рассмотрена реализация решения задач естественно-языковой обработки научного текста, осуществлённая с применением технологий генетического и автоматного программирования, которая позволила создать технологию решения задач построения онтологий, отличающуюся почти полной автоматической обработкой [11].

О.А. Бубаревой в целях интеграции информационных систем на основе онтологий предложен генетический алгоритм, который основан на использовании аналогов с эволюционными процессами репродукции, кроссинговера, мутации и естественного отбора [12].

В статье [13] рассматривается возможность применения генетического алгоритма для оптимального задания весовых коэффициентов с целью определения взвешенного среднего нескольких базовых программ сопоставления данных в системе GOAL. В данной работе модель выравнивания онтологии была представлена как задача оптимизации, в которой целевая функция основана на понятии нечёткой близости.

В работе [14] предложен модифицированный генетический алгоритм, позволяющий объединить разные метрики близости онтологических моделей в одну. В работе [15] сформулированы базовые метрики семантической близости и предложен гибридный подход, основанный на генетическом алгоритме, который определяет оптимальную конфигурацию для отображения онтологий.

Авторы работы [16] предложили эволюционный подход к решению задачи интеграции множественных онтологий для обеспечения совместимости и репрезентации данных и знаний в интеллектуальных информационных системах. Такой подход позволяет определить семантически приоритетные объекты данных и знаний для их представления в модели интеграции, а также устранить дублирование и противоречия сущностей и связей на уровне Про и объектов данных из областей интеграции.

Известно, что эволюционные методы оптимизации позволяют находить квазиоптимальные решения за приемлемое время [17]. МРЧ представляет собой эволюционный метод оптимизации. Впервые он был предложен для задачи имитации социального поведения [18]. МРЧ привлекателен простотой реализации и может использоваться для решения многих задач, в том числе обучения нейросетей, поиска минимума функции, а также задач, типичных для генетических алгоритмов. МРЧ, как и все алгоритмы, принадлежащие к семейству эволюционных алгоритмов, является стохастическим, не требующим вычисления градиента. Многочисленные исследования показали, что оптимизация методом роя частиц является эффективным подходом для решения непрерывных задач оптимизации [19].

В работе [20] был предложен эволюционный подход к выравниванию онтологий, основанный на МРЧ. Оптимальное отображение находилось путём решения однокритериальной задачи вычисления весовых коэффициентов мер семантической близости.

В настоящей работе подход, описанный в работе [20], модифицируется за счёт нахождения весовых коэффициентов мер семантической близости, которые обеспечат максимальные значения критериев качества.

### 3 Описание метода отображения онтологий

Задача отображения онтологий решается как процесс установления отображения двух онтологий на основе вычисления комплексной меры семантической близости сущностей онтологий. Для её решения предложен алгоритм, который включает в себя пять последовательно выполняемых этапов (рисунок 1).

На первом этапе вычисляются пять мер семантической близости на лексическом, смысловом уровнях, уровне классов, уровне триплетов, таксономическом уровне. На лексическом уровне выполняется оценка семантической близости (редакционного расстояния) с применением формулы Левенштейна<sup>1</sup>. На смысловом уровне используется мера семантической близости, которая использует сходство между словами в имени сущности (основан на семантической сети WordNet, метод Резника<sup>2</sup>). Для оценки косинусной меры семантической близости концепты онтологии преобразуются в векторы (модель word2vec<sup>3</sup>) и вычисляется её значение. Семантическая близость между триплетами обусловлена близостью между их компонентами. Полагается, что если соответствующие компоненты двух триплетов являются близкими по смыслу, то эти триплеты также являются семантически близкими. Мера семантической близости на уровне таксономии вычисляется только для класса. Это приём позволяет измерить разницу в локальной структуре объекта.

<sup>1</sup> Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов. Доклады Академии наук СССР, 1965. 163.4: 845-848. *Прим.ред.*

<sup>2</sup> Resnik, P. Using Information Content to Evaluate Semantic Similarity in a Taxonomy. In IJCAI, 1995, v. 1, p. 448–453. *Прим.ред.*

<sup>3</sup> Word2vec — программный инструмент, разработанный компанией Google, для анализа семантики естественных языков. Представляет собой технологию, основанную на дистрибутивной семантике и векторном представлении слов. *Прим.ред.*



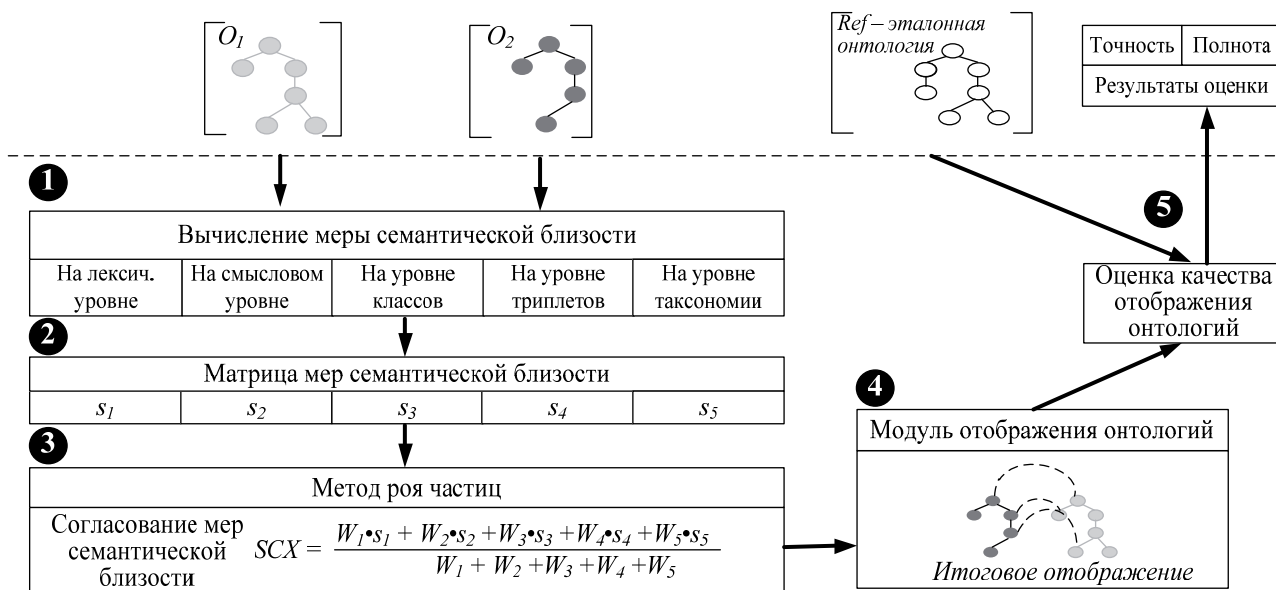


Рисунок 1 – Этапы отображения онтологий с применением многокритериальной оптимизации методом роя частиц

Далее инициализируется выполнение алгоритма оптимизации МРЧ. С использованием формулы (3) вычисляется комплексная мера семантической близости и определяется матрица комплексных мер семантической близости. Для полученной матрицы применяется алгоритм многокритериальной оптимизации МРЧ (формула 7), вычисляются оптимальные весовые коэффициенты мер семантической близости и выполняется итоговое отображение онтологий.

Согласно МРЧ в процессе оптимизации поддерживаются популяции возможных решений, называемых частицами, которые перемещаются в пространстве решений. Перемещения подчиняются принципу наилучшего найденного в этом пространстве положения, которое постоянно изменяется при нахождении частицами более выгодных положений. Схема алгоритма оптимизации МРЧ приведена на рисунке 2.

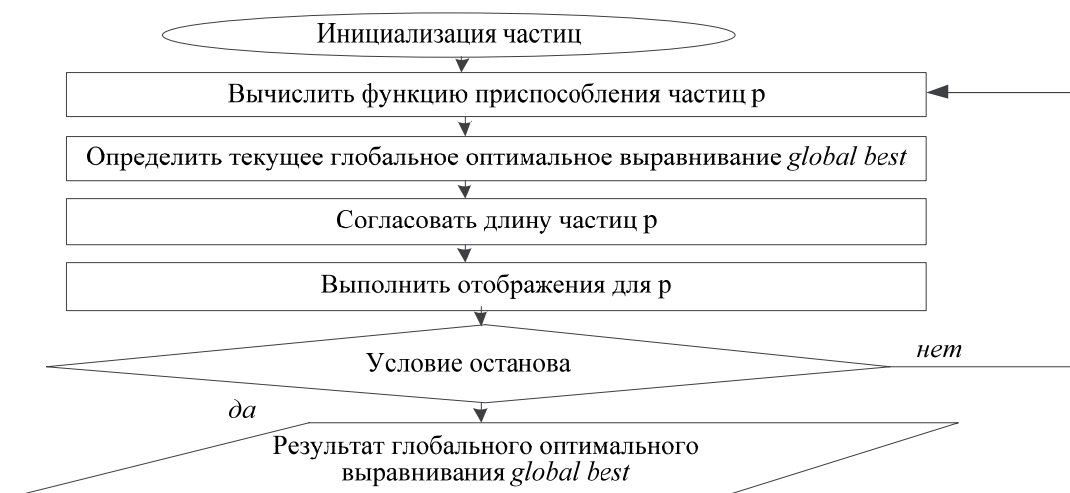


Рисунок 2 – Алгоритм оптимизации методом роя частиц

В нашем случае в роли частиц выступают весовые коэффициенты семантической близости концептов. Инициализация процесса оптимизации МРЧ выполняется с помощью популяции случайных частиц, после чего алгоритм выполняет поиск оптимальных решений путём непрерывного обновления популяций. Отображение онтологий дискретным МРЧ определяется некоторым числом  $N$  частиц (популяцией). В каноническом МРЧ на каждой итерации для каждой частицы применяется вектор скорости, который определяет её новое положение в пространстве параметров. Такая эволюция происходит за счёт управляемых случайных повторных итераций в каждой частице. Более подробное описание алгоритма приведено в работе [20], где оптимизация выполняется по одному критерию.

**Инициализация.** Популяция называется роем, и она состоит из  $m$  подходящих решений или частиц. Каждая частица имеет  $n$  клеток или позиций, содержащих  $n$  весовых коэффициентов, соответствующих разным мерам подобия.

Например, модели кодирования частиц с семью ячейками преобразуются в семь весовых коэффициентов (нормализованное представление ячейки) для семи мер сходства ( $i$ -я частица с семью позициями  $j$ , которые могут быть вычислены по формуле

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^7 x_i}, \text{ причём, } 0 \leq w_{ij} \leq 1.$$

Первоначально случайным образом выбирается значение для каждой ячейки в диапазоне от 0 до 1. После того, как выбраны начальные рои, рассчитываются соответствующие им значения пригодности. Первоначальная скорость каждой ячейки частицы принимается равной нулю. Входными данными предложенной методики являются: размер роя; пороговое значение  $w_{ij}$ .

**Вычисление целевой функции.** Согласно (7) используются критерии полноты (5) и точности (6) поиска.

**Создание роя следующего поколения.** Операция осуществляется путём оценки положения и скорости частицы. Каждая ячейка или позиция представляет собой вес (нормализованное значение ячейки) относительно меры подобия. Ячейки внутри частицы содержат значения от 0 до 1, а скоростям частиц заданы нулевые значения. Используя результаты предыдущей стадии, положение каждой частицы и её скорость обновляются. Каждая частица отслеживает лучшую позицию, которую она достигла ( $pbest$ ). Самое лучшее положение среди всех частиц называется глобальным лучшим ( $gbest$ ). Изменение скорости частицы происходит согласно следующему выражению:

$$(8) \quad v_{ij}(t+1) = w \cdot v_{ij}(t) + k_1(pbest_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + k_2(gbest(t) - x_{ij}(t))$$

$$(9) \quad x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1),$$

где

$t$  – временная метка,  $j$ -й кластер  $i$  частицы;

$k_1$  и  $k_2$  – случайные значения из диапазона от 0 до 1.

Далее вычисляется значение целевой функции каждой частицы по формуле (7) и отбор частиц, которые дают наибольшие значения целевой функции.

#### 4 Экспериментальная оценка оптимизации отображения онтологий

Предложенный алгоритм был реализован в среде Matlab. В эксперименте были использованы две онтологии, структура которых приведена на рисунке 4.

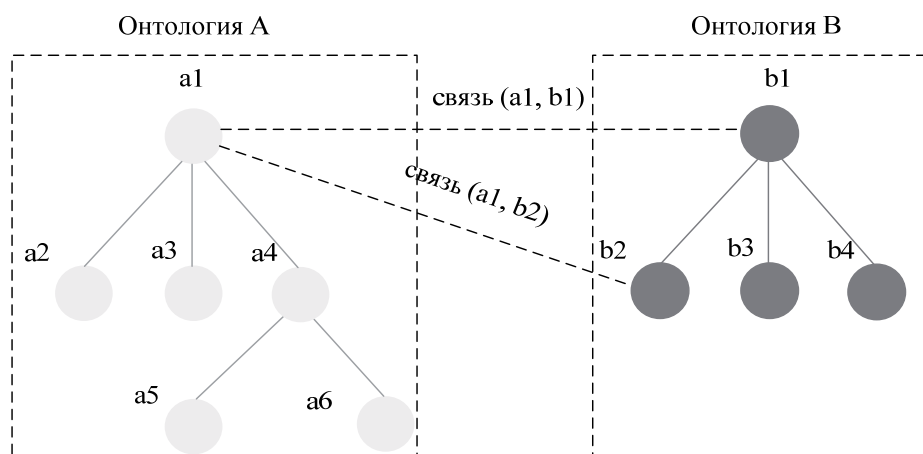


Рисунок 4 – Пример отображения онтологий

Онтология *A* имеет шесть сущностей, а онтология *B* - четыре сущности. Каждый элемент онтологии *A* имеет связь со всеми другими элементами онтологии *B*. Поскольку существуют четыре связи для каждого элемента онтологии *A*, следовательно, в общей сложности имеем двадцать четыре парных связи. На рисунке 4 условно показаны только связи  $[a1, b1]$  и  $[a1, b2]$ . Значение подобия между  $a1$  и  $b1$  определяет весовой коэффициент для связи  $[a1, b1]$ . Результаты сравнения предлагаемого подхода с однокритериальной оптимизацией (оптимизация была выполнена отдельно для критериев точности и полноты в работе [20]) приведены в таблице 1. По критерию точности эффективность предлагаемого подхода оказалась наивысшей. По критерию полноты поиска предлагаемый метод также позволил получить высокие результаты.

Таблица 1 – Результаты одно- и многокритериальной оптимизации

Подход	Точность	Полнота поиска
Многокритериальной оптимизации	0,81428	1,00
Однокритериальной оптимизации (точность)	0,7142	0,86
Однокритериальной оптимизации (полнота поиска)	0,3333	1,00

## Заключение

В работе рассмотрены проблемы интеграции данных гетерогенных информационных источников на основе онтологий. Предложена технология оценки семантической близости концептов двух онтологий, отличительной особенностью которой является автоматическое определение весовых коэффициентов с использованием метода роя частиц. Экспериментальная оценка оптимизации отображения онтологии подтвердила эффективность предложенной технологии.

## Благодарности

Работа выполнена за счёт частичного финансирования Государственного задания ГЗ №2.5537.2017/6.7. Грант РФФИ №18-07-50.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Гладков, Л.А.** Биоинспирированные методы в оптимизации: монография / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М: Физматлит, 2009. – 384 с.
- [2] **Тузовский, А.Ф.** Использование онтологий в системах управления знаниями организаций / А.Ф. Тузовский, С.В. Козлов, С.В. Чириков, В.З. Ямпольский // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 3. – С.180-184.
- [3] **Gruber, T.R.** The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases / T.R. Gruber // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference. 1991. – P.601-602.
- [4] **Lambe, P.** Organizing knowledge: taxonomies, knowledge and organisational effectiveness. Elsevier. 2014. - 300p.
- [5] **Guarino, N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation // Int. J. of Human Computer Studies. 1995. Vol. 43(5/6). – P.625-640. – DOI: 10.1006/ijhc.1995.1066.
- [6] **Dou, D.** Ontology Translation on the Semantic Web. / D. Dou, D. McDermott, P. Qi // Journal on Data Semantics. 2004. No2. – P.35-57. – DOI: 10.1007/978-3-540-30567-5\_2.
- [7] **Лукашевич, Н.В.** Проектирование лингвистических онтологий для информационных систем в широких предметных областях / Н.В. Лукашевич, Б.В. Добров // Онтология проектирования. 2015. №1. – С.47-69.
- [8] **Шабалин, А.Г.** Применение расширенной онтологии для комбинирования распределённых данных / А.Г. Шабалин // Сборник трудов Всероссийской научной школы-семинара молодых учёных, аспирантов и студентов «Интеллектуализация информационного поиска, скантехнологии и электронные библиотеки». – Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С.115-120.
- [9] **Blomqvist, E.** Semi-automatic Ontology Construction based on Patterns. PhD thesis, Linköping University, Department of Computer and Information Science at the Institute of Technology, 2009. - 370 p. - <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:207543/FULLTEXT01.pdf>.
- [10] **Euzenat, J.** Ontology matching / J. Euzenat, P. Shvaiko. – Berlin: Springer, 2013. – 511 p.
- [11] **Найханова, Л.В.** Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования / Л.В. Найханова. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. – 244 с.
- [12] **Бубарева, О.А.** Математическая модель процесса интеграции информационных систем на основе онтологий / О.А. Бубарева // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2.
- [13] **Volinia, S.** GOAL: Automated Gene Ontology analysis of expression profiles / S. Volinia, R. Evangelisti, F. Francioso, D. Arcelli, M. Carella, P. Gasparini // Nucleic acids research. 2004. № 32.
- [14] **Shamsfard, M.** OMeGA: Ontology matching enhanced by genetic algorithm / M. Shamsfard, B. Helli, S. Babalou // Proceedings of the Second International Conference on Web Research (ICWR). 2016.
- [15] **Ginsca, A.** Using a genetic algorithm for optimizing the similarity aggregation step in the process of ontology alignment / A. Ginsca, A. Iftene // 9th RoEduNet IEEE International Conference. 2010. - P.118-122.
- [16] **Бова, В.В.** Эволюционный подход к решению задачи интеграции онтологий / В.В. Бова, Д.В. Заруба, В.В. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. № 6(167), 2015. - С.41-56.
- [17] **Курейчик, В.М.** Перспективные информационные технологии на основе методов, инспирированных природными системами / В.М. Курейчик // Онтология проектирования. 2013. №4(10). – С.60-71.
- [18] **Kennedy, R.E.** Particle swarm optimization / R.E. Kennedy // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN '95). 1995. vol. 4. – P.1942–1948.
- [19] **Bock, J.** Discrete Particle Swarm Optimization for Ontology Alignment / J. Bock, J. Hettenhausen // Information Sciences. 2012. Vol-19, No2. – P.152-173. – DOI: 10.1016/j.ins.2010.08.013.
- [20] **Semenova, A.V.** Application of Swarm Intelligence for Domain Ontology Alignment / A.V. Semenova, V.M. Kurreichik // Proceedings of the First International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'16). 2016. – P.261-270. – DOI: 10.1007/978-3-319-33609-1\_23.

## ONTOLOGY MAPPING USING THE METHOD OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

A.V. Semenova<sup>1</sup>, V.M. Kureichik<sup>2</sup>

Southern Federal University, Taganrog, Russia

<sup>1</sup>alexforum@rambler.ru, <sup>2</sup>kur@tgn.sfedu.ru

### Abstract

The paper is devoted to the integration of data from distributed heterogeneous information sources on the basis of ontology. The method of semantic similarity calculation between concepts allows to evaluate similarity between concepts. A technique for semantic similarity estimation between concepts of two ontologies is proposed. The main feature is the automatic calculation of weights using particle swarm optimization method. With the proposed approach, vectors of weights are generated. They correspond to different coefficients of semantic similarity. Then, using the obtained weights, the combination of different coefficients of semantic similarity is performed. Each concept from an ontology is attributed with a set of relevant semantic concepts from another ontology. This allows to obtain sets of optimal and quasi-optimal solutions.

**Key words:** ontology alignment, particle swarm optimization, knowledge bases, multi-objective optimization.

**Citation:** Semenova AV, Kureichik VM. Ontology mapping using the method of particle swarm optimization [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 285-295. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-285-295.

### Acknowledgment

The work was carried out with partial financing of the State task of the State Reserve No. 2.5537.2017/6.7. The RFBR grant No. 18-07-50.

### References

- [1] Gladkov LA, Kureichik VV, Kureichik VM. Bioinspired methods in optimization: [in Russian] – M: Phizmatlit, 2009. – 384 p.
- [2] Tuzovskiy AF, Kozlov SV, Chirikov SV, Yampolskiy VZ. Ontology application in knowledge management systems of companies [in Russian]. *Izvestiya of Tomsk Polytechnic University*. 2006; 309(3): 180-184.
- [3] Gruber TR. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. *Proceedings of the Second Internat. Conference*. 1991. – P. 601-602.
- [4] Lambe P. Organizing knowledge: taxonomies, knowledge and organisational effectiveness. *Elsevier*. 2014. – 300p.
- [5] Guarino N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation // *Int. J. of Human Computer Studies*. 1995; 43(5/6): 625-640. – DOI: 10.1006/ijhc.1995.1066.
- [6] Dou D, McDermott D, Qi P. Ontology Translation on the Semantic Web. *J. on Data Semantics*. 2004; 2: 35-57. – P.35-57. – DOI: 10.1007/978-3-540-30567-5\_2.
- [7] Lukashovich NV, Dobrov BV. Developing linguistic ontologies in broad domain [in Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 47-69. - [http://www.ontology-of-designing.ru/article/2015\\_1%2815%295\\_Loukachevitch.pdf](http://www.ontology-of-designing.ru/article/2015_1%2815%295_Loukachevitch.pdf).
- [8] Shabalin AG. Enhanced ontology usage for distributed data integration [in Russian]// *Sbornik trudov vserossijskoj nauchnoj shkoly-seminara molodyh uchyonyh, aspirantov i studentov «Intellektualizaciya informacionnogo poiska, skantekhnologii i elektronnye biblioteki»*. – Taganrog: TTI SFU 2010. – P.115-120.
- [9] Blomqvist E. Semi-automatic Ontology Construction based on Patterns. PhD thesis, Linköping University, Department of Computer and Information Science at the Institute of Technology, 2009. - 370 p. - <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:207543/FULLTEXT01.pdf>.
- [10] Euzenat J, Shvaiko P. Ontology matching. – Berlin: Springer, 2013. – 511 p.
- [11] Naihyanova LV. The technology of creating methods for ontology learning by genetic and automatic programming [in Russian]. – Ulan-Ude: BNC SO RAN, 2008. – 244 p.
- [12] Bubareva OA. Ontology-based mathematical model for information system integration [in Russian]. *Modern problems of science and education*. 2012. No 2.



- [13] *Volinia S, Evangelisti R, Francioso F, Arcelli D, Carella M, Gasparini P.* GOAL: Automated Gene Ontology analysis of expression profiles // *Nucleic acids research*. 2004. No 32.
- [14] *Shamsfard M, Helli B, Babalou S.* OMeGA: Ontology matching enhanced by genetic algorithm // Proceedings of the Second International Conference on Web Research (ICWR). 2016.
- [15] *Ginsca A, Iftene A.* Using a genetic algorithm for optimizing the similarity aggregation step in the process of ontology alignment // 9th RoEduNet IEEE International Conference. 2010. - P.118-122.
- [16] *Bova VV, Zaruba DV, Kureichik VV.* Evolutionary approach for ontology integration [in Russian]. *Izvestiya of SFU. Technical sciences*. 2015; 6(167): 41-56.
- [17] *Kureichik VM.* Perspective information technologies based on the methods inspired by natural systems [in Russian]. *Ontology of designing*. 2013. 4(10): 60-71. - [http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013\\_4%2810%29%2F7\\_Kureychik.pdf](http://www.ontology-of-designing.ru/article/2013_4%2810%29%2F7_Kureychik.pdf).
- [18] *Kennedy RE.* Particle swarm optimization // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN '95). 1995; 4: 1942–1948.
- [19] *Bock J, Hettenhausen J.* Discrete Particle Swarm Optimization for Ontology Alignment / *Information Sciences*. 2012; 19(2): 152-173. – P.152-173. – DOI: 10.1016/j.ins.2010.08.013.
- [20] *Semenova AV, Kureichik VM.* Application of Swarm Intelligence for Domain Ontology Alignment // Proceedings of the First International Scientific Conference « Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'16). 2016. – P.261-270. – DOI: 10.1007/978-3-319-33609-1\_23.

## Сведения об авторах



*Семенова Александра Владимировна*, 1981 г.р. Окончила Таганрогский радиотехнический университет по специальностям «Защищенные телекоммуникационные системы» и «Лингвист, переводчик» (2003). Аспирант Южного федерального университета (кафедра «Дискретная математика и методы оптимизации»). Автор 20 научных работ в области онтологического моделирования и обработки текстовой информации.

*Alexandra Vladimirovna Semenova* (b. 1981). Graduated from the Taganrog Radio Engineering University in 2003 with a degree in «Protected Telecommunication Systems», engineer; second higher education – Taganrog Radio Engineering University, «Linguist, translator». Postgraduate Student, Southern Federal University (Department of Discrete Mathematics and Optimization Methods). Author of 20 scientific works in the field of ontological modeling and

text information processing.



*Курейчик Виктор Михайлович*, 1945 г. рождения. Окончил Таганрогский радиотехнический институт в 1967 г., д.т.н. (1978). Заведующий кафедрой «Дискретная математика и методы оптимизации» Южного федерального университета. Действительный член академии инженерных наук Российской Федерации. Руководитель научной школы «Теория и практика проектирования интеллектуальных проблемно-ориентированных информационных систем на основе эволюционных вычислений». Автор 635 публикаций. Старший член IEEE США, член американского математического общества, член американского библиографического института, председатель оргкомитета постоянно действующей с 1981 года международной конференции «Интеллектуальные САПР».

*Viktor Mikhailovich Kureichik* (b. 1945). Graduated from the Taganrog Radio Engineering Institute in 1967, Dr.Sc. (1978). Head and Professor of the Department of Discrete Mathematics and Optimization Methods of the Southern Federal University. Full member of the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation. Head of the scientific school «Theory and practice of designing intelligent problem-oriented information systems based on evolutionary calculations». The author of 635 publications. A senior member of the IEEE USA, a member of the American Mathematical Society, a member of the American Bibliographic Institute, chairman of the organizing committee of permanent since 1981 the international conference «Intellectual CAD».

УДК 597.97

## ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ПОЗИЦИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН

**С.В. Микони**

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия  
smikoni@mail.ru*

### Аннотация

Проблема размерности разнообразных свойств сложных объектов, подлежащих оцениванию, решается путём группировки отражающих их показателей. За объекты оценивания выбраны современные транспортные средства, представляющие собой сложные киберфизические системы. В отличие от применяемого в настоящее время подхода к решению обозначенной проблемы, основанного на практическом опыте и экспертных оценках, предлагается выделить все стороны, заинтересованные в оценивании технического уровня и качества транспортных средств. На основе системного подхода выделены участники жизненного цикла транспортной системы. На разных этапах жизненного цикла транспортного средства ими являются проектировщик и изготовитель, продавец и покупатель, пользователь и эксплуатационник. Показатели транспортной системы группируются относительно интересов этих сторон. Предложено начинать группирование показателей от конечной цели транспортного средства, реализуемой потребителем. Выполнено группирование обобщённых показателей транспортных средств с учётом интересов и предпочтений участников жизненного цикла транспортных средств на множестве единичных показателей.

**Ключевые слова:** системный анализ, транспортное средство, транспортная система, заинтересованная сторона, качество, технический уровень, структурирование показателей.

**Цитирование:** Микони, С.В. Формирование обобщённых показателей транспортной системы с позиций заинтересованных сторон / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.296-304. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.

### Введение

Современные транспортные средства (ТСр) представляют собой сложные киберфизические системы, характеризуемые многими десятками физических и интеллектуальных свойств. Актуальной задачей является оценивание их технического уровня и качества на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ). В работе [1] эта задача решается с позиции проектировщика сложной технической системы (СТС). Проблема оценивания современного ТСр заключается не только в её высокой размерности, но и в необходимости учёта свойств связанных с ним объектов, представляющих по отношению к ТСр внешнюю среду (ВС). Иными словами, ТСр нужно рассматривать как компонент транспортной системы (ТС), в рамках которой оно создаётся, приобретает, обслуживается, применяется по назначению и утилизируется. В 70-е и 80-е годы XX века подобного рода задачи решались в рамках программно-целевого планирования [2].

Исходные свойства СТС закладываются проектировщиком с учётом всех этапов её ЖЦ. Каждое элементарное свойство представляется своим единичным показателем [1]. Поскольку ТС характеризуется десятками единичных показателей, проблема приемлемой размерности решается путём поэтапного объединения единичных показателей в группы. В работе [3] перечень всех единичных показателей на основе накопленного практического опыта предлагается разделять на следующие группы: функциональные (назначение СТС), эксплуатацион-

но-технические, эксплуатационно-экономические, эргономические, экологические и стоимостные. Это деление перечня единичных показателей не учитывает интерес к ним со стороны всех участников ЖЦ ТС (далее заинтересованных сторон или интересантов). А к ним, помимо проектировщика, относятся: производитель ТСр, его продавец (физическое или юридическое лицо, т.е. компания), покупатель, эксплуатационник (тот, кто его обслуживает) и пользователь в лице оператора (водителя, пилота и пр.) и заказчика транспортных услуг (пассажира, грузоотправителя и пр.).

В связи с этим целью настоящей работы является выявление интересов участников создания и функционирования ТС и определение их предпочтений к группам показателей. К первоочередной задаче относится формирование верхнего уровня иерархии показателей. При этом немаловажной задачей является унификация показателей верхнего уровня для всех видов ТС. С решением этой задачи связано применение междисциплинарных понятий, приемлемых для любых видов ТС. Использование понятия *показатель* на разных уровнях иерархии показателей требует внесения терминологической ясности в его трактовку и отношение с ближайшими ему понятиями.

## 1 Трактовка понятия *показатель*

Многоуровневая структура показателей относится к классу онтологических моделей, в которых важная роль отводится предметному языку [4, 5]. В предложенном в работе [5] словаре ключевых слов проектанта отсутствует термин *показатель*, применяемый во многих областях знания. В словаре С.И. Ожегова [6] *показатель* в самом широком смысле определяется как «данные, по которым можно судить о развитии, ходе, состоянии чего-нибудь».

В отличие от русского слова *показатель* термин *параметр* был заимствован из древнегреческого языка. От глагола *соизмеряю* (др.-гр. *παράμετρον*) было образовано существительное *параметр*. Под ним понимают величину, с помощью которой характеризуются какие-то свойства, способности, состояние, размер или форма объекта, процесса, явления, системы и т.п. Следовательно, в слове *параметр* в отличие от показателя, как средства оценивания, первичен смысл измерения, из чего следует, что оно имеет более узкий смысл [7].

Большой общностью, чем показатель, обладает понятие *характеристика* (от др.-греч. *χαρακτηριστικός* *отличительный*), как совокупность отличительных *свойств* какого-либо объекта. Оно является собирательным понятием по отношению к отдельным свойствам объекта, оцениваемым показателями и параметрами [8].

Исходя из того, что многоуровневая структура показателей востребована для оценивания *качества* ТС, в статье термин *показатель* используется именно в этом контексте. В ГОСТ 15467-79 [9] *показатель качества продукции* определён как *количественная характеристика* одного или нескольких свойств продукции, входящих в её качество, рассматриваемая применительно к определённым условиям её создания и эксплуатации или потребления.

Единичный показатель качества продукции – это показатель, характеризующий одно из её свойств. Единичные показатели качества продукции по техническим характеристикам объединяются в группы: назначения, надёжности, безопасности, эргономические, стойкости к внешним воздействиям, эстетические, технологичности, транспортабельности, стандартизации и унификации, патентно-правовые, экологические, экономические [10]. Размерность показателей этого уровня иерархии также превосходит известную психологическую границу  $7 \pm 2$ . Необходим следующий уровень обобщения, отражающий интересы участников ЖЦ ТС.

Для вынесения оценки качества по некоторому показателю человеку необходимо сравнить его значение с известным значением. Иными словами, нужно знать норму или требование, предъявляемое к показателю. Это требование отражает *критерий*, представляющий со-

бой правило оценивания показателя. В [11] оно формализовано как двухместный предикат предпочтения фактического значения показателя по отношению к его желаемому или известному значению. В настоящей работе предпочтения участников ЖЦ ТС ограничиваются перечнем интересующих их показателей верхнего уровня иерархии.

## 2 Доставка груза и пассажиров

Назначением любой физической ТС является *доставка грузо-пассажиров*<sup>1</sup> (доставка ГП) в заданном объёме/количестве из пункта *отправления* (ПО) в пункт *доставки* (ПД) по выбранному *маршруту* с помощью ТСр. Рассмотрим компоненты понятия *доставка ГП*.

Внешнее управление и оператор ТСр реализуют функции планового и оперативного управления доставкой ГП. Груз измеряется массой и объёмом, а пассажиры – количеством. Под грузом понимается материал, находящийся в любом из трёх состояний (твёрдое, жидкое, газообразное). Материалы различаются: *характером потребления* (сырьё, продукты, предметы пользования), *упаковкой* (контейнер, другая тара, без тары), *опасностью* (не опасные, горючие, взрывоопасные). Под пассажиром понимается любое живое существо, т.е. не только человек, но и животное.

Под ПО понимается любой объект, с которого стартует ТСр. Этот объект может быть как *неподвижным*, так и *подвижным*. Под ПД понимается любой объект, к которому должен быть доставлен груз или пассажир. Так же, как и ПО, ПД может быть как неподвижным, так и подвижным. Доставка ГП имеет расширительное толкование как доставка не только в конечную (ПД), но и в любую промежуточную точку маршрута.

Трасса, связывающая ПО и ПД, называется *маршрутом* доставки груза. Маршрут, прокладываемый между ПО и ПД, характеризуется *расстоянием* между ними и *состоянием* трассы. Маршрут выбирается в процессе *маршрутизации*. Для оперативного выбора или изменения маршрута используются средства *навигации*, определяющие местоположение, скорость и ориентацию движущегося ТСр.

Доставка груза характеризуется следующими показателями: *точность* доставки в смысле близости к намеченной цели, *время* доставки, *сохранность* груза, *удобство* для пассажиров в процессе их доставки к ПД, *стоимость* доставки.

## 3 Свойства транспортного средства

ТСр делятся: по *назначению*, по *среде* доставки ГП и по *способу* передвижения. Независимо от этих особенностей любому ТСр присущи следующие свойства: скорость; точность доставки; масса; габариты; устойчивость к воздействию внутренних и внешних факторов; способ управления; безопасность; удобство; манёвренность; проходимость; потребляемые ресурсы; воздействие на окружающую среду. Рассмотрим некоторые из них.

**Устойчивость** в широком смысле определяется как *свойство объекта выполнять свои функции в условиях изменения внутренней среды и ВС*. Применительно к ТСр под его устойчивостью следует понимать достижение ПД в условиях влияния внутренних и внешних факторов. Различные виды устойчивости были рассмотрены в [12]. В условиях предсказуемых (расчётных) изменений внутренней и ВС устойчивость конкретизируется в *равновесие* системы. Это свойство реализуется средствами автоматического регулирования, обеспечивающими поддержание постоянства параметров ТСр. В условиях непредсказуемых изменений внутренней и ВС устойчивость конкретизируется в *приспособляемость*. Приспособление

---

<sup>1</sup> В [8] грузо-пассажиры называются *целевой нагрузкой*.



(адаптация) системы осуществляется, прежде всего, за счёт накопления опыта. Высший уровень устойчивости обеспечивается за счёт *выбора оптимального пути* развития системы.

Под **безопасностью** понимается *сохранение свойств* ГП в процессе доставки.

**Удобство** – это свойство ТСр, касающееся как операторов, так и пассажиров ТСр.

**Манёвренность** характеризует способность ТСр *избегать* естественные и искусственные препятствия, встречающиеся на пути следования, меняя свои координаты, как по горизонтали, так и по вертикали, не меняя ПД.

**Пройодимость** характеризует способность ТСр *преодолевать* естественные и искусственные препятствия, встречающиеся на пути следования.

Сопоставляя понятия *избегать* и *преодолевать* препятствия можно сделать вывод, что *манёвренность* и *проходимость* являются антиподами по способу преодоления препятствий.

**Потребляемые ресурсы.** Ресурс – это *запас* чего-то, который можно использовать для удовлетворения конкретных потребностей. Под ресурсом технической системы обычно понимают наработку в течение установленного срока службы при использовании по назначению. Работа ТСр обеспечивается за счёт потребления доступных ресурсов в виде вещества, энергии и информации.

**Воздействие** ТСр на окружающую среду определяется количеством отходов, загрязняющих *землю, воду и воздух*, а также шумовым и лучевым воздействием.

Рассмотренные свойства характеризуют ТСр с точки зрения его *пользователя* (оператора и пассажира) и в этом смысле являются потребительскими свойствами ТСр. В силу неоднородности этих свойств разобьём их на группы. Свойства ТСр, характеризующие его способность выполнять доставку ГП из ПО в ПД, объединим в группу *показатели назначения* (ПН). К этой группе согласно [13] относятся свойства ТСр, которые отвечают на следующие вопросы: *какой груз* (или количество пассажиров) может доставить ТСр в ПД, *с какой скоростью* (или за какое время) и *с какой точностью* приближения к цели (ПД).

Следующая группа свойств ТСр отражает *качество доставки* (КД) ГП. *Устойчивость* к воздействию внутренних и внешних факторов и *безопасность* гарантируют положительный исход доставки ГП, а *удобства*, созданные для пассажиров и оператора, имеют отношение к их самочувствию в процессе доставки в ПД. К этой же группе следует отнести показатели *эстетичности*, влияющие на эмоциональное восприятие пользователем своего ТСр [13].

Важной характеристикой процесса доставки ГП является способ *прохождения маршрута* (ПМ). Он зависит от таких качеств ТСр, как *манёвренность* и *проходимость*. Эти свойства ТСр используются при выборе маршрута в процессе доставки ГП.

**Взаимодействие** ТСр с ВС проявляется через потребление её ресурсов и загрязнение окружающей среды от функционирования ТСр и его пассажиров.

Выделенные четыре группы свойств представляют верхний уровень характеристики ТСр, интересующий его пользователя. Рассмотренные свойства ТСр необходимы и достаточны для оценивания их качества в *отрыве* от других свойств ТС. Для оценивания качества ТСр в составе ТС необходим анализ свойств объектов, взаимодействующих с ТСр.

#### 4 Участники жизненного цикла ТСр

Все стороны, участвующие в ЖЦ ТСр, будем рассматривать как ВС. На рисунке 1 ТСр представлено в виде ядра ТС, отделённого от ВС пунктирной линией. ВС разделена на четыре части: активную и пассивную ВС, внешнюю систему и оператора, осуществляющего доставку ГП на ТСр. Оператор и ГП на рисунке 1 условно отделены от ТСр, хотя в процессе доставки могут составлять с ним единое целое. Каждая из других трёх частей ВС делится на несколько компонентов. Взаимодействия между компонентами ТС показаны стрелками.



Двойная сплошная стрелка означает воздействие на свойства компонента, а двойная пунктирная стрелка означает потребление свойств компонента. Пунктирная одинарная стрелка отражает экономический интерес компонента системы. Сплошная жирная одинарная стрелка означает управление ТСр, а пунктирная – обратную связь.

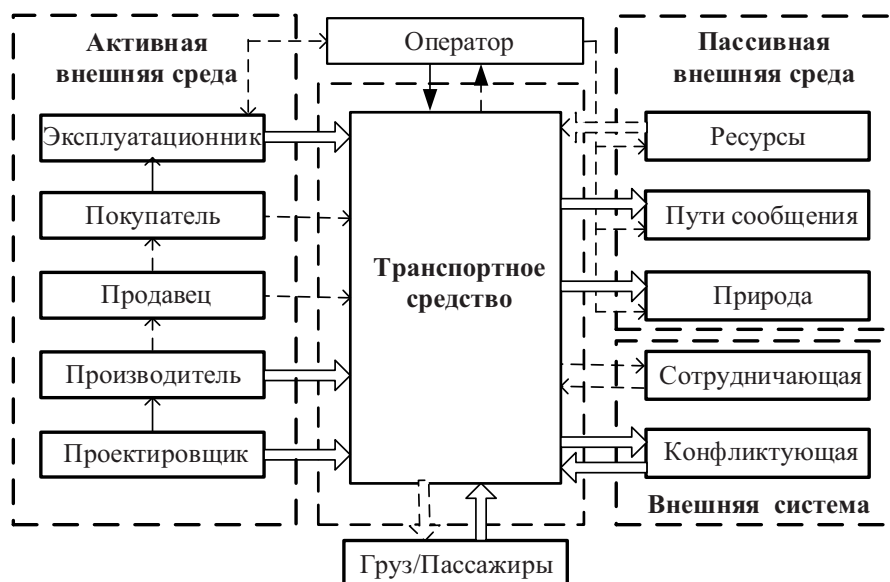


Рисунок 1 – Модель взаимодействия ТСр с внешней средой

К активной части ВС отнесены (на рисунке снизу вверх): проектировщик и производитель ТСр, продавец, покупатель и эксплуатационник. *Проектировщик* формирует свойства будущего изделия, а *производитель* воплощает их в готовое ТСр. Изготовленное ТСр отчуждается от своего родителя (в смысле дальнейшего самостоятельного существования) и через *продавца* поступает в распоряжение *покупателя*. С этого момента покупатель становится *владельцем* ТСр, который передаёт ТСр в подразделение *эксплуатации*, ответственное за поддержание ТСр в исправном состоянии. Обслуживание ТСр продолжается в течение всей активной стадии ЖЦ и завершается утилизацией ТСр.

Непосредственное управление ТСр осуществляет оператор либо находясь в ТСр, либо дистанционно. ТСр выполняет исполнительные функции ТС, доставляя ГП к ПД.

К пассивной части ВС отнесены *ресурсы*, *пути сообщения*, по которым прокладывается маршрут ТСр, и *природа*. Если первые два компонента пассивной среды относятся к преобразованной части природы, то под природой понимается её часть, неподвластная человеку. Учитывая сложность и степень автономности современных ТСр, их можно отнести к классу киберфизических систем [14], а ТС, включающую субъектов социума, отнести к классу социальных киберфизических систем [15], что позволяет использовать общую терминологию.

## 5 Интересы участников транспортной системы

В [16] и других публикациях по системному анализу, следуя англоязычной терминологии, стороны, заинтересованные в решении проблемы, называют термином *stakeholders* (в статье – это *интересанты*). Рассмотрим интересы каждого участника ЖЦ ТСр.

*Проектировщик* формирует все свойства ТСр на уровне моделей. Он заинтересован в обеспечении высокого технического уровня ТС в целом и ТСр в частности. В стандарте [17] *качество* определено как совокупность характеристик объекта, относящихся к его способно-

сти удовлетворить установленные и предполагаемые потребности. Согласно [18] технический уровень продукции характеризует степень её соответствия *требованиям технического прогресса* и определяет уровень качества продукции при условии, что она изготовлена в точном соответствии с нормативно-технической документацией.

Важно отметить, что улучшение показателей ТСр достигается на уровне технических характеристик его частей. Отсюда следует необходимость оценивать технический уровень ТСр на уровне частей, а ТС – на уровне её компонентов. Каждая часть ТСр и составляющая ТС характеризуется своим набором единичных показателей. Единичные показатели и требования к ним задаются в техническом задании на проектирование ТС.

*Производитель* ТСр формирует свойства ТСр на физическом уровне. Его интересуют *проектно-технологические, патентно-правовые и экономические* показатели, характеризующие технологический процесс производства. Проектно-технологические показатели делятся на следующие группы [13]: *стандартизации, унификации и преемственности; технологичности; транспортабельности; сохраняемости.*

Из экономических показателей производителя, в первую очередь, интересуют *себестоимость* продукции и *прибыль* от её реализации.

*Продавец* и *покупатель* рассматривают ТСр как товар, реализуя товарно-денежные отношения. Продавец заинтересован в максимизации прибыли от продажи ТСр. Интерес покупателя ТСр заключается в минимизации цены ТСр. Помимо цены его интересуют *эксплуатационные расходы* [13].

Интерес *эксплуатационников* ТСр представляют службы *технического и пассажирского* обслуживания. Они размещаются в ПО, ПД и промежуточных пунктах маршрута. Вместе с путями сообщения эти пункты образуют инфраструктуру ТС. Оператора (водителя, пилота, оператора дистанционного управления ТСр) ТСр интересует качество доставки ГП к ПД. Интересы поставщиков энергетических и иных ресурсов представляют их владельцы. Они заинтересованы в объёме поставляемых ресурсов. Природа, как пассивный участник ТС, оказывает воздействие на ТСр в процессе доставки им ГП.

## 6 Предпочтения заинтересованных сторон

Каждый участник, имеющий отношение к ТС, имеет свой интерес к составу её показателей. Заинтересованная сторона стремится к достижению экстремальных значений показателей, представляющих наибольший интерес для неё, а на значения остальных показателей – наложить приемлемые ограничения. Все показатели делят на две группы, условно называемые «цена» и «качество» [13].

*Проектировщик* ТС заинтересован в обеспечении высокого технического уровня ТС, компонентов ТС и частей ТСр. Технический уровень интересует и эксплуатационников ТС. Оцениванию качества ТС на уровне частей подлежат только варианты одного проекта в едином пространстве характеризующих их показателей. Из предпочтительных проектов ТСр выбирают те, которые удовлетворяют ограничениям по стоимостным показателям.

Ограничением для *производителя* ТСр является соблюдение точного соответствия показателей изделия с требованиями нормативно-технической документации и с патентно-правовыми требованиями. Наряду с этим производитель заинтересован в улучшении *проектно-технологических* и *экономических* показателей.

Покупателя ТСр интересуют показатели из группы ПН, которые устремляются к предельно возможным значениям, например, максимальная скорость ТСр. Цена ТСр и стоимость эксплуатации для покупателя определяется не только суммой имеющихся у него средств, но и соотношением цена/качество. Оператора ТСр, как и покупателя, интересуют

показатели групп ПН, КД, и ПМ. Если покупатель предпочтёт, в первую очередь, ПН, то для оператора более важными могут оказаться показатели из группы ПМ. Успех прохождения маршрута зависит также от средств навигации, повышающих манёвренность ТСр. Пассажиры предпочтёт показатели из группы КД, из которых важнейшими являются показатели безопасности.

Для оператора ТСр представляют также интерес ситуативные показатели, которые зависят от задания на доставку конкретного ГП с указанием ПО, ПД и маршрута между ними.

Техническое обслуживание предназначено для поддержания в рабочем состоянии восстанавливаемого ТСр. В разной степени оно осуществляется на всех пунктах маршрута. Представители службы технического обслуживания стремятся минимизировать показатели, отражающие затраты на поддержание ТСр в рабочем состоянии.

Владелец ресурсов заинтересован в максимизации потребления ресурсов ТСр. Владелец путей сообщения заинтересован в их долговечности, что побуждает его обращать внимание на ущерб, наносимый пути ТСр. Для экологического органа первичными являются показатели, характеризующие загрязнение окружающей среды.

Проведённый анализ показывает разное отношение заинтересованных сторон к разным группам показателей. Поскольку каждая из сторон имеет свой интерес к показателям ТСр, его можно оценивать экспертным способом или гармонизировать интересы участников методами многоагентных систем [19]. Изменение структуры показателей и предпочтения между группами и внутри групп влияют на общую оценку сравниваемых вариантов ТСр.

## **Заключение**

Обычная практика определения состава показателей СТС основывается на опыте и здравом смысле. В работе предлагается рассматривать показатели СТС с позиции каждой из сторон, причастных к различным этапам её ЖЦ. В качестве объекта исследования выделен класс ТС. Центральное место в ТС занимает ТСр, выполняющее доставку ГП. Предложено начинать группирование показателей от конечной цели ТСр, реализуемой потребителем. Выделены четыре группы показателей, отвечающие интересам оператора. На основе системного подхода определены другие участники ЖЦ ТСр. Их интересы выражены через такие обобщённые показатели, которые могут быть конкретизированы применительно к широкому классу ТСр. Предложено группирование обобщённых показателей ТСр с учётом интересов и предпочтений участников ЖЦ ТСр на множестве единичных показателей.

## **Благодарности**

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-01-00139 в рамках бюджетной темы № 0073–2018–0003. Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность профессору Самарского университета Н.М. Боргесту за существенную помощь в уточнении используемых в работе понятий.

## **Список источников**

- [1] *Воронов, Е.М.* К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла / Е.М. Воронов, В.В. Щербинин, С.С. Семенов // *Онтология проектирования*. 2016. – Т. 6, №2(20). – С.173-192. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [2] *Поспелов, Г.С.* Программно-целевое планирование / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – М. Сов. радио. 1976. – 440 с.
- [3] *Семенов, С.С.* Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок / С.С. Семенов. – М. ЛЕНАНД. 2015. – 350 с.

- [4] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. №1(7). – С.7-25.
- [5] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. №3(9). – С.9-31.
- [6] Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов; Под ред. проф. Л. И. Скворцова. 28-е изд. перераб. – М.: ООО «Издательство Оникс». 2012. – 1376 с.
- [7] **Шнирельман, А.И.** Синонимы и антонимы в научной и технической литературе / А.И. Шнирельман. – М.: ВИНТИ, 1987. – 176 с.
- [8] **Егер, С.М., Мишин, В.Ф., Лисейцев Н.К.** и др. Проектирование самолётов. 4-е изд. Репр. воспр. текста изд. 1983 г. – М.: Логос. 2005. – 648 с.
- [9] ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения».
- [10] Прикладные вопросы квалиметрии. Под ред. Гличева А.В. – М.: Издательство стандартов. 1973. – 172 с.
- [11] **Микони, С.В.** Теория принятия управленческих решений / С.В. Микони. – СПб.: Лань, 2015. – 448 с.
- [12] **Микони, С.В.** О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. 2017. – Т. 7, №3(25). – С.347-360. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [13] **Хорошев, А.Н.** Управление решением проектных задач на предприятии / А.Н. Хорошев // Современные научные исследования и инновации. 2011. № 7. - <http://web.snauka.ru/issues/2011/11/4940>.
- [14] **Lee, E.A., Seshia, S.A.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017. – DOI: 10.1002/9781118557624.ch1.
- [15] **Suryanarayanan, S., Roche, R., Hansen, T.M.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering 2016. - 521 p. – DOI: 10.1049/pbpo081e.
- [16] **Тарасенко, Ф.П.** Прикладной системный анализ. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: КНОРУС. 2017. – 322 с.
- [17] Международный стандарт ISO 9000-2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
- [18] Большая энциклопедия нефти и газа. <http://www.ngpedia.ru/>.
- [19] **Городецкий, В.И.** Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и её расширения / В.И. Городецкий, В.В. Самойлов, Д.В. Троцкий // Известия РАН: Теория и системы управления. 2015. № 5. – С.102–121.

## FORMATION OF GENERALIZED INDICATORS OF TRANSPORT SYSTEM FROM THE POSITIONS OF STAKEHOLDERS

**S.V. Mikoni**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia  
smikoni@mail.ru*

### Abstract

The problem of the dimension of the various properties of complex objects subject to estimation is solved by grouping the corresponding indicators. For the objects of assessment, modern vehicles, which are complex cyberphysical systems, have been adopted. In contrast to the current approach to solving this problem, based on practical experience and expert assessments, it is proposed to identify all stakeholders interested in assessing the technical level and quality of vehicles. At different stages of the vehicle's life cycle, they are the designer and manufacturer, the seller and the buyer, the user and the technical personnel. The indicators of the transport system are grouped in relation to the interests of stakeholders. It is proposed to begin grouping of indicators from the ultimate goal of the vehicle realized by its user. Using the system approach, other participants in the life cycle of the transport system are identified. The grouping of generalized indicators of vehicles is proposed taking into account the interests and preferences of participants in the life cycle of vehicles on a set of single indicators.

**Key words:** *system analysis, vehicle, transport system, stakeholder, quality, technical level, structuring of indicators.*

**Citation:** *Mikoni SV. Formation of generalized indicators of the transport system from the positions of stakeholders [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(2): 296-304. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.*

### Acknowledgment

The author considers it his pleasant duty to express his gratitude to Professor N.M. Borgest for substantial assistance in clarifying the concepts used in the work. The studies were carried out with the financial support of the RFBR grant No. 17-01-00139 within the framework of the budget theme No. 0073-2018-0003.



## References

- [1] **Voronov EM, Shcherbinin VV, Semenov SS.** To the assessment of technical level complex technical systems taking into account the whole life cycle [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(2): 173-192. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-6-2-173-192.
- [2] **Pospelov GS, Irikov VA.** Programmno-celevoe planirovanie [Program-Target Planning]. [In Russian]. – M.: Sov. radio. 1976. – 440 p.
- [3] **Semenov SS.** Ocenka kachestva i tekhnicheskogo urovnya slozhnyh sistem. Praktika primeneniya ehkspertnyh ocnok [Assessment of the quality and technical level of complex systems. The practice of expert assessments applying] [In Russian]. – M. LENAND. 2015. – 350 p.
- [4] **Borgest NM.** Scientific basis for the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; 1(7): 7-25.
- [5] **Borgest NM.** Key terms of ontology of designing: review, analysis, generalizations [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; 3(9): 9-31.
- [6] **Tolkovii slovar russkogo yazyka / S.I. Ojegov;** Pod red. prof. L. I. Skvorcova. 28-e izd. pererab. [Explanatory dictionary of the Russian language]. [In Russian]. – M.: «Izdatelstvo Oniks» 2012. – 1376 p.
- [7] **Shnirel'man AI.** Synonyms and antonyms in the scientific and technical literature [In Russian]. - M.: VINITI, 1987. - 176 p.
- [8] **Eger SM, Mishin VF, Liseicev NK** etc. Proektirovanie samoletov [Designing of aircraft]. [In Russian]. 4-e izd. Repr. vospr. teksta izd. 1983. – M.: Logos. 2005. – 648 p.
- [9] GOST 15467-79 "Upravlenie kachestvom produktsii. Osnovnie ponyatiya. Termini i opredeleniya" [GOST 15467-79 "Product quality management: Basic concepts: terms and definitions"]. [In Russian].
- [10] **Prikladnie voprosi kvalimetrii [Applied Qualimetry Issues].** [In Russian]. Pod red. Glicheva A.V. – M.: Izdatelstvo standartov. 1973. – 172 p.
- [11] **Mikoni SV.** Teoriya prinyatiya upravlencheskih reshenii [Theory of administrative decision making]. [In Russian]. – Spb.: Lan'. 2015. – 448 p.
- [12] **Mikoni SV.** On the quality of ontological models [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2017; 7(3): 347-360. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [13] **Horoshev AN.** Management of the solution of design tasks at the enterprise [In Russian]. Modern scientific research and innovations. 2011. No.7. - <http://web.snauka.ru/issues/2011/11/4940>.
- [14] **Lee EA, Seshia SA.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, ISBN 978-0-262-53381-2, 2017. – DOI: 10.1002/9781118557624.ch1.
- [15] **Suryanarayanan S, Roche R, Hansen TM.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering. *Institution of Engineering and Technology*. 2016. - 521 p. – DOI: 10.1049/pbpo081e.
- [16] **Tarassenko FP.** Prikladnoj sistemnyj analiz [Applied System Analysis: Tutorial]. [In Russian]. – M.: KNORUS. 2017. – 322 p.
- [17] ISO 9000-2011. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary. [In Russian].
- [18] **Bol'shaya ehnciklopediya nefti i gaza.** [The Great Encyclopedia of Oil and Gas] [In Russian]. - <http://www.ngpedia.ru/>.
- [19] **Gorodeckij VI, Samojlov VV, Trockij DV.** Bazovaya ontologiya kollektivnogo povedeniya avtonomnyh agentov i eyo rasshireniya [The basic ontology of collective behavior of autonomous agents and its extension]. [In Russian]. *Izvestiya RAN: Teoriya i sistemy upravleniya*. 2015. № 5. pp. 102–121.

## Сведения об авторе



**Микони Станислав Витальевич**, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994) ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций 295 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта.

**Stanislav Vitalievich Mikoni** (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994). He is Russian Association of Artificial Intelligence member (1998). He is author and co-author of more than 295 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematic, system analyses, artificial intelligence, decision making theory.



## Коммюнике онтологического саммита 2018 КОНТЕКСТ В КОНТЕКСТЕ<sup>1</sup>

Июнь 2018

Kenneth Baclawski<sup>1</sup>, Mike Bennett<sup>2</sup>, Gary Berg-Cross<sup>3</sup>, Cory Casanave<sup>4</sup>, Donna Fritzsche<sup>5</sup>,  
Joanne Luciano<sup>6</sup>, Todd Schneider<sup>7</sup>, Ravi Sharma<sup>8</sup>, Janet Singer<sup>9</sup>, John Sowa<sup>10</sup>,  
Ram D. Sriram<sup>11</sup>, Andrea Westerinen<sup>12</sup>, David Whitten<sup>13</sup>

<sup>1</sup>Northeastern University, Boston, MA USA,

<sup>2</sup>Hypercube Limited, London, UK,

<sup>3</sup>RDA US Advisory Group, Troy, NY USA,

<sup>4</sup>Model Driven Solutions, Herndon, VA USA,

<sup>5</sup>Hummingbird Design, Chicago, IL USA,

<sup>6</sup>Indiana University, IN USA,

<sup>7</sup>Engineering Semantics, Fairfax, VA USA,

<sup>8</sup>Senior Enterprise Architect, Elk Grove, CA USA,

<sup>9</sup>INCOSE, Scotts Valley, CA USA,

<sup>10</sup>Kyndi, Inc. USA,

<sup>11</sup>National Institute of Standards & Technology, Gaithersburg, MD USA,

<sup>12</sup>Two Six Labs, LLC USA,

<sup>13</sup>WorldVista USA

### Аннотация

Общепризнанно, что интерпретация информации в любой форме зависит от контекста. Онтологический саммит 2018 исследовал разнообразные связи между онтологией и контекстом. Этот документ подводит итог работы саммита и проведённого в его рамках симпозиума. В статье описывается необходимость создания точных формальных спецификаций контекста, рассматриваются подходы к обнаружению, пониманию и формализации контекста. Цель настоящей работы и связанных с ней материалов помочь сообществу в исследовании подходов к контексту для развития контекстно-зависимых решений, которые могли бы быть применены как в области инженерии знаний, так и в проектировании онтологий.

**Ключевые слова:** онтологии; контекст; ситуации; микротеоии; открытая сеть знаний.

## 1 Введение

Только за последние несколько лет было создано больше данных, чем за всю предыдущую историю человечества. Скорость производства данных и их сложность увеличиваются. Большая часть этих данных контекстно-зависима. Несмотря на прогресс в разработке и применении онтологических методов работы с семантикой данных, прогресс в области определения контекста невелик. Учитывая, что данные почти всегда зависят от контекста, формальное описание данных, даже при помощи очень развитых онтологий, будет иметь ограниченную полезность, если контекст известен только неформально, если он известен вообще.

Задачей этого Коммюнике является описание преобладающих взглядов на проблему формализации контекста и связанные с этим сложности и исследовательские задачи. В рамках настоящего Коммюнике основное внимание уделено контексту цифровой информации и данных, хотя контекст присущ любой предметной области (Про).

## 2 Предпосылки

В общем случае под контекстом обычно понимаются условия, которые формируют сцену для события, утверждения, процесса или идеи в терминах, которые позволили бы понять и оценить это событие, утверждение, процесс или идею. Таким образом, речь идёт о лингвистическом контексте выражения. Кроме того, может

<sup>1</sup>ONTOLOGY SUMMIT 2018 COMMUNIQUE - Contexts in Context -

[https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique\\_v12.pdf](https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique_v12.pdf)

**Рекомендуемое цитирование в русскоязычной литературе:**

Коммюнике Онтологического Саммита 2018 – Контекст в контексте / К. Baclawski, М. Bennett, G. Berg-Cross, С. Casanave, D. Fritzsche, J. Luciano, Т. Schneider, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, A. Westerinen, D. Whitten. Пер. с англ. М.Д. Коровина, с сокр. // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.305-316.

существовать физический контекст, обстоятельства или состояние дел в реальном мире, которое обеспечивает контекст для произносимых утверждений. Некоторые примеры синонимов или альтернативных терминов, которые имеют контекст контекста, включают обстоятельства, условия, факторы, перспективу, сферу действия, состояние дел, ситуацию, фон, сцену, место действия и систему взглядов.

Контекст, необходимый для понимания любого предмета, может включать любую информацию, общую или конкретную. По этой причине любые рассуждения о контексте находятся на метаяуровне: речь идёт не о текущем предмете, а о методах определения некоторой неявной информации, которая должна быть добавлена к интерпретации предмета.

Информация, необходимая для контекста, может поступать из нескольких источников. Непосредственный контекст включает предложения, предшествующие или следующие текущему предложению. Фоновые знания включают информацию о предмете, которой обладают оратор, слушатель, зритель, автор или читатель. Ситуация включает время, место и аудиторию или читателей. Все эти источники информации могут меняться в разных моментах дискурса или документа.

Можно говорить о физических ситуациях как контексте событий, а онтологии могут моделировать концепт «ситуации», используя, например, онтологию теории ситуаций (ОТС) (Kokar, Matheus, & Baclawski, 2009). Однако ситуация сама по себе может быть недостаточной в качестве контекста. Это означает, что нужно указать ответы как минимум на шесть основных вопросов; а именно: кто, что, когда, где, почему и как<sup>2</sup>. Более того, существует множество понятий «контекст» за пределами физических ситуаций (например, социальный контекст), и поэтому ситуации могут потребовать для описания гораздо больше, чем просто ответы на эти вопросы.

Одним из подходов к пониманию контекста является рассмотрение взглядов и перспектив. Пэт Хейс выделяет две интеллектуальные традиции, каждая из которых приносит различную коллекцию невысказанных предположений: семантическая лингвистика и когнитивная лингвистика (Hayes, 1997). В каждой из этих традиций Пэт Хейс идентифицировал два смысла для контекстов, в общей сложности четыре смысла: физический контекст; лингвистический / тематический контекст; концептуальный контекст; дедуктивный контекст.

Джон Сова далее разделяет четыре смысла языкового контекста следующим образом (Sowa, 2017): текст или дискурс; ситуация; общеизвестные знания; намерения участников.

Джон Сова признал, что эти смыслы могут бесконечно подразделяться для любых целей. Он также обозначил, что существуют реальные, модальные и намеренные контексты (Sowa, 2017).

Контекст - это всё, что влияет на интерпретацию или значение истинности чего-то ещё. Кори Казанаве предложил шаблон для понимания и формализации контекста как посредника (Casanave, 2018), показанный на рисунке 1. В этом подходе контекст выступает как посредник между набором предложений (или правил) и контекстуализируемыми вещами. Существенные отношения заключаются в том, что правило или предложение имеют место в контексте, и что контекст обеспечивает основу для понимания множества вещей (которые также могут быть предложениями). Если контекст *C* истинен для акта интерпретации, предложения, которые находятся внутри *C*, сохраняются для всех вещей, которые *C* контекстуализует. Этот шаблон работает для многих контекстуальных измерений, таких как время, местоположение и происхождение.

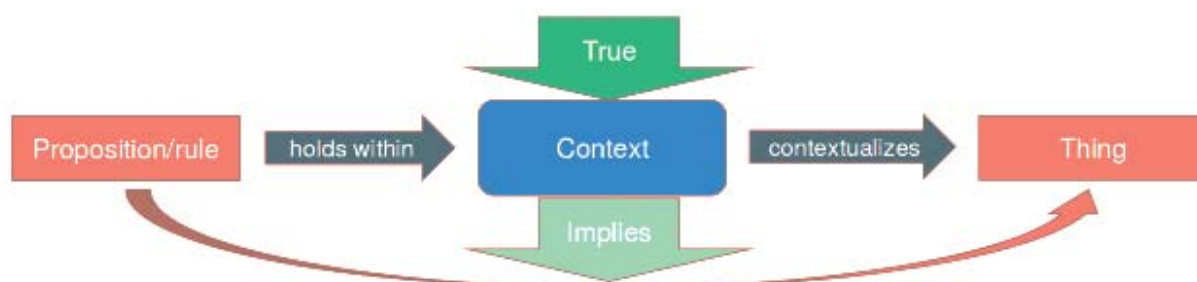


Рисунок 1 - Контекст как посредник (Casanave, 2018, Slide 15)

Примером, иллюстрирующим потенциальное использование контекста как посредника, является разделение между ссылочными и прикладными онтологиями в биомедицинской области. Онтология приложения - это та, которая была разработана экспертами ПрО для использования в конкретных видах приложений. В отличие от онтологий приложений эталонные онтологии не предназначены для какого-либо конкретного приложения, но предназначены для повторного использования в нескольких контекстах приложений. Тогда в идеале можно генерировать онтологии приложений из одной или нескольких эталонных онтологий с использованием фор-

<sup>2</sup> В английском языке эти вопросы (Who, What, When, Where, Why and HoW) иногда называют «шестью Ws», несмотря на то, что один из них не начинается с буквы W, а заканчивается её.

мальных методов для определения трансформации из эталонных онтологий в онтологии приложений (Brinkley, Suci, Detwiler, Gennari, & Rosse, 2006). Формальное определение трансформации представляет собой контекст онтологии приложения, как показано на рисунке 1. К сожалению, на практике этот процесс может быть трудно-выполнимым, как отмечено в (Malone & Parkinson, 2010).

Существуют различные источники информации, которые могут быть использованы для определения контекста какого-либо предмета. К ним относятся объём, вопросы компетенции, требования к бизнесу, «случаи использования», происхождение и другие документы, которые использовались в процессе разработки предмета. К другим потенциальным источникам относятся намерения и взгляды заинтересованных сторон и разработчиков. Такие исходные данные должны теоретически быть полезными для формального определения контекста, а также для разработки предмета, поскольку эти материалы дают некоторое представление о том, что предназначено для представления. К сожалению, существует мало систематического опыта использования таких материалов для разработки контекста.

Даже для формальных артефактов, таких как онтологии, контекст является неопределённым понятием; и в тех случаях, когда он вообще определяется, контекст обычно документируется неформально. Ещё в 1997 году Патрик Хейс заметил, что «есть много идей о том, какова структура [контекста]» (Hayes, 1997). Позже, в своём выступлении на конференции CogSIMA 2012, он сказал: «Все согласны с тем, что смысл зависит от контекста, но не все согласны с тем, что такое контекст». Затем продолжил: «... любая теория смысла будет сосредоточена на вещах, которые влияют на него, и всё, что осталось, будет названо «контекстом» ... поэтому «контекст» становится термином «мусор». Это означает остаток, что бы это ни было». (Hayes, 2012) Кажется, что, хотя контекст важен, всё, что можно сказать вообще о контексте, это то, что он находится на метауровне относительно предмета, и что контекст влияет на интерпретацию предмета. Тем не менее, возможно сформировать рекомендации, помогающие явно выражать некоторые аспекты контекста при использовании конкретной методологии разработки. Более того, прагматические соображения должны стимулировать разработку исследований подходов к контекстам.

### 3 Причины формализации контекста

Одна из задач онтологии заключается в формализации неявных контекстов. Тем не менее, требуется обоснование для выделения ресурсов для разработки таких онтологий.

#### 3.1 Причины, специфичные для предметной области

Многие ПрО имеют специфические потребности в однозначной контекстной информации. Например, правила поддержки принятия решений для медицины требуют таких контекстных элементов, как: кто (личные данные), когда (связанные с возрастом и временем медицинские события, даты приема и выписки), что (медицинские показания, поведение, информация о медучреждении), почему (цель посещения и приёма) и т.д. Чтобы иметь возможность эффективно отвечать на запросы, связанные с такими элементами контекста, необходимо указать их формальным образом, в идеале используя онтологию.

Финансовая область - ещё один пример регулярного использования контекстной информации, например, происхождение и детали для индивидуальной, институциональной и финансовой информации для бизнес-кредита или ипотеки. Формализация контекста важна для проверки соответствия юридическим требованиям. Отсутствие этой возможности, вероятно, стало фактором, повлиявшим на финансовую рецессию, связанную с ипотекой в 2008 году.

#### 3.2. Интеграция и взаимодействие

Помимо потребности в формализации контекста отдельных ПрО, существует потребность в интеграции и интероперабельности, которая изучалась на Онтологическом саммите 2016 г. «Онтологии в семантически интероперабельных экосистемах»<sup>3</sup> (Fritzsche et al., 2017). Действительно, интеграция характерна для многих организаций, и обеспечение взаимодействия систем между департаментами и организациями стало важнейшей задачей. Системы, которые предоставляют или обеспечивают информационную поддержку, создаются на основе преобладающих потребностей ПрО, организации или приложения. Ограничения по времени и ресурсам не позволяют интеграции и повторному использованию быть приоритетными, несмотря на наличие осознанной потребности в их реализации. Как заявил Ханс Польцер, различные системы вносят различные контексты, цели и решения в области охвата различными институциональными спонсорами (Polzer, 2018).

<sup>3</sup> См. сокращенный русскоязычный перевод в №2 за 2016 год в журнале «Онтология проектирования». Прим. ред.

Например, компания может иметь несколько баз данных для разных отношений с клиентами или продуктами, с поставщиками, данными о персонале и т. д., которые имеют отличающиеся параметры. Взаимодействие между информационными ресурсами компании или их повторное использование может быть достигнуто только в случае разрешения проблемы неявного контекста. В этом примере контексты представляют собой роли (например, клиент, поставщик, сотрудник), отношения (такие как *isCustomerOf*, *isEmployeeOf*, *isProductionManagerOf*) или продукты (например, велосипед, болт, обувь). Другие виды контекстов могут распространяться на весь спектр шести основных вопросов. Онтология для контекста - объединяющая концептуальная модель: общий язык на предприятии. Чтобы обеспечить интероперабельность между приложениями или повторное использование данных по всему предприятию, неявные контексты для каждого набора данных должны быть переработаны в явные онтологические классы и отношения внутри онтологии.

Таким образом, каждая система, организация, сообщество, база данных или формат сообщения определяются в его собственном, часто нечётком контексте, который может зависеть от других контекстов. Интеграция и интероперабельность требуют обмена информацией или инструкциями в этих различных, независимо созданных контекстах систем. Контекст, в котором эти системы создавались, предполагает множество контекстуальных измерений, многие из которых не объявляются. Различные неустановленные контексты приводят к различным неустановленным предположениям при интерпретации информации и инструкций в разных системах, что приводит к ошибкам и риску.

Хотя эти системы создаются независимо, систематическая интеграция их информации и процессов имеет важное значение для совместной работы, общих служб, обмена информацией и аналитики. В современном мире эти возможности необходимы для продолжительного существования коммерческих предприятий и эффективности правительства. Это подразумевает, что практика интеграции и функциональной совместимости связана с множеством контекстов, пониманием их сходства, различий и отношений и смягчением этих различий и потенциальных ошибок и рисков. Сегодня задача понять и преодолеть эти контекстуальные различия, которые могут быть успешными для конкретной проблемы, ложится на онтологов (Allemang, 2018). Однако интеграция и функциональная совместимость в масштабе позволяют предположить, что применимый контекст и их последствия были изложены более формально, чтобы машинная логика могла поддерживать, проверять и, в некоторых случаях, заменять человеческое вмешательство.

Специфические контекстные допущения, которые могут различаться в разных системах и наборах данных и должны быть однозначно описаны, включают: время; пространственные рамки; доверие; терминологию.

Методы представления и логического вывода о контексте улучшились. Действительно, работы по этой тематике ведутся более десяти лет (Chen, Finin, & Joshi, 2003), (Baldauf, Dustdar, & Rosenberg, 2007) и в более свежей работе по контексту для Интернета вещей (Perera et al., 2014). Тем не менее, ещё предстоит чётко определить и согласовать передовой опыт с формальным обоснованием для представления контекста и реализации логического вывода на его основе.

В оперативном плане интероперабельность имеет перспективы или «измерения», помимо технических (например, социальные и культурные измерения). Существует несколько моделей, которые пытаются описать интероперабельность для совместного использования между агентствами. Примечательно, что они включают модель совместимости информационных систем (LISI) из MITER (LISI, 1998); модель «Системы, возможности, операции, программы и предприятия» (SCOPE) из Консорциума по сетевым центрам (NCOIC) (Creps et al., 2008); Национальную модель обмена информацией (NIEM) из дирекции Национальной разведки (веб-сайт NIEM, 2017). Все эти модели пытаются описать аспекты сущностей, которым необходимо взаимодействовать, и их контексты. Однако, хотя конкретные технические или синтаксические проблемы могут быть преодолены, существуют проблемы, связанные с выражением контекста и логическим выводом на его основе. Поскольку контексты имеют тенденцию к более высокому порядку, некоторые логики первого порядка могут быть недостаточными, что ещё более усложняет задачи вывода.

Создание формальных представлений контекста наряду с логическими представлениями, которые позволили бы обеспечить сокращение временных затрат и рисков, связанных с интеграцией и функциональной совместимостью за счёт автоматизации, остаётся открытой темой для исследований. Основной вопрос заключается в следующем: как могут символы и термины, используемые в коммуникации между сущностями и различными контекстами использования, быть достаточно явными и пригодными для использования как машинами, так и людьми для обеспечения согласованности интерпретации? Дополнительная проблема возникает, когда онтологии или системы независимо определяются в разных контекстах с использованием разных терминов. Как можно сделать однозначные контекстуальные предположения для различных систем? Как процессы и информация, определённые в отдельных контекстах, объединяются в общую «систему систем», которая сохраняет смысловую целостность, одновременно сокращая время, стоимость и риски? Эволюция систем и их контексты также оказывают глубокое влияние на интеграцию. Значительные усилия по решению этих проблем включают формальные подходы к согласованию онтологий (например, Kachroudi, Diallo, & Ben, 2017; Buttigieg et al., 2016).



### 3.3 Естественный язык

Исследовательская литература по языку является самым первым случаем изучения контекстов, а высказывания на естественном языке на практике в значительной степени контекстуальны. Обработка естественного языка (ОЕЯ) использует контекст для устранения неоднозначности, поэтому формализация контекста была бы полезной для ОЕЯ, а также для многих других задач. Например, здравый смысл был отмечен как ключевое требование для надлежащего деконструирования текста естественного языка в соответствии с различными контекстами. Пример, приведённый в (Cambria & White, 2014), касается разницы в оценке понятия «маленький». Это отрицательная оценка при описании комнат в обзоре отеля становится положительной при описании очередей в офисе. В качестве другого примера выражение «лучше прочитайте книгу» положительно в контексте обзора книги, но отрицательно при обзоре фильма.

Большое количество важных данных представлено с использованием естественного языка, а извлечение знаний для графов знаний (ГЗ) с использованием ОЕЯ и машинного обучения (МО) активно изучается. Формальный контекст является ключевым для жизнеспособности таких инициатив. Можно было бы ожидать, что лингвистика вообще, помимо ОЕЯ, должна стать полезной для понимания контекстов, и анализ дискурса действительно помогает, но это по-прежнему открытый вопрос (Barenfanger, et al., 2008).

### 3.4 Большие знания

Большие знания с их неоднородностью, глубиной и сложностью могут быть столь же сложными, как и большие данные, особенно если мы используем гетерогенные, шумные и противоречивые данные для создания знаний. Одиночные онтологии не могут масштабироваться по мере расширения работы и возникновения большего количества контекстов, что создает потребность в дополнительных онтологиях и возможностях их связи.

Один из онтологических подходов к большим знаниям заключается в том, чтобы выбрать часть реального мира, подходящую для конкретной цели, и моделировать её как модуль. Модульные подходы к построению онтологий для задач, предназначенные для расширения и согласования, – один из лучших возможных подходов (Ontology Summit, 2014<sup>4</sup>). Невозможно избежать различий в выборе и интерпретации, и различные внешние факторы создадут собственный контекст для каждого интеллектуального агента, выполняющего интерпретацию. Множественные формальные контексты, вероятно, будут единственным средством борьбы с большими, очень сложными проблемами больших знаний. Однако, как и в случае с большими данными, необходимо обеспечить, чтобы контексты и их обработка были масштабируемыми по мере увеличения объёмов и типов данных и знаний.

### 3.5 Построение графов знаний

Контекст может быть полезен для развития ГЗ. Разработка ГЗ должна решать проблему шумной, злонамеренной, отсутствующей и неполной информации. Как правило, для принятия некоторого факта и включения его в ГЗ необходимы сходящиеся и избыточные доказательства. Здесь возникает множество проблем, в том числе, вопрос защиты ГЗ от информации из злонамеренного источника. Поскольку люди могут иметь отличающиеся мнения, могут существовать несколько взглядов на определённые сущности и их отношения. Можно представить как растут ГЗ в связи с такими различиями, по мере того как безопасно улучшается качество изучаемого и организуемого. Автоматическая очистка данных находится на раннем этапе развития, и часто требует ручной обработки таких данных. Явное указание контекста, особенно различающихся убеждений, может быть использовано в качестве основы для улучшения автоматизированной очистки ГЗ.

## 4 Подходы к формализующему контексту

После осознания необходимости формализации контекста возникает вопрос его выделения и описания. Онтологии создаются в рамках некоторых систем взглядов, которые не всегда заявляются и не всегда однозначны. Таким образом, нужен способ оценки и описания того, что подразумевается под контекстом и связанной с ним перспективой какого-либо субъекта, независимо от того, насколько формальным может быть этот субъект, например, с использованием логики первого порядка или теории математических категорий.

В простом варианте можно добавить что-то о каком-то предмете внимания в качестве метаданных об объекте. Мы связываемся с онтологиями как частью этого представления, потому что конкретная онтология может

<sup>4</sup> См. русскоязычный перевод в №2 за 2014 год в журнале «Онтология проектирования». *Прим. ред.*



рассказать нам что-то важное о ПрО этой онтологии. Поэтому онтология может использоваться для выражения некоторых базовых знаний о какой-либо теме, данных, объекте и т.д. Но, в свою очередь, может существовать контекст для какой-то темы, который бы мог сказать что-то об этом субъекте, вне того, что он говорит сам.

Разные ораторы в ходе саммита высказали различные мнения о том, что могло бы выступить в качестве релевантного контекста. Однако, поскольку контекст находится в метауровне, то можно спросить, какие метаданные необходимы для обсуждения объекта и какой уровень выразительности потребуется для этого обсуждения. В качестве примера можно привести идею о том, что понятие, например, медицинское заболевание, может и должно быть смоделировано по-разному в зависимости от контекстуального представления, в котором оно рассматривается. Контекстуальный взгляд на болезнь может зависеть от пространственно-временной координаты (первый мир против третьего мира), тематического фокуса (исследование или лечение), субъективной перспективы агента (пациента или врача), некоторого принятого уровня детализации для представления (клеточное или на уровне организма) и предполагаемое применение предмета для контекстуализации. Таким образом, существует много подходов. В этом разделе рассматриваются основные подходы, которые были представлены во время саммита. Эти подходы варьируются от лёгких, ориентированных на метаданные методов с использованием RDF, чтобы указать контекст операторов RDF, до гораздо более богатых формальных механизмов, для которых контексты являются формальными объектами, пригодными для применения к ним выражений первого порядка. Различные подходы не являются исключительными и на самом деле взаимодополняют друг друга, а при необходимости полезно использовать более одного или даже все из них.

#### 4.1 Онтологии верхнего уровня

Онтология верхнего уровня (ОВУ) состоит из очень общих терминов (таких как «объект» или «свойство»), которые должны быть общими для всех ПрО. Выбирая специализацию одного из этих общих терминов, явно указывается один аспект контекста для этого термина; а именно, его относительное место в ГЗ, а также то, что он наследует все свойства родительского термина. Для введения в ОВУ и списка основных ОВУ см. (Bennett, 2018). Рассмотрим, могут ли ОВУ использоваться для предоставления набора общих, организующих теорий, которые служат для разделения различных видов контекста для субъекта. Возможны следующие три подхода к проблеме представления контекста, которые могут или не могут быть совместимыми друг с другом.

- 1) *Контекст как класс*: одна из категорий ОВУ - это всеобъемлющая категория «Контекст» для некоторых предметов.
- 2) *Виды контекста*: несколько категорий высокого уровня разделяют виды контекста, такие как одна категория для каждого из шести основных вопросов.
- 3) *Все как контекст*: для любого элемента в контексте субъекта, контекстуально определённое «значение» или семантики этого элемента является суммой всех других элементов, к которым он относится.

В терминах (1) «Контекст как класс» одним из подходов является представление понятий о Первичности, Вторичности и Третичности. В этом подходе любая категория «Вторичность» - это та, которая объединяет в одном контексте две или более вещи, причём этот контекст является категорией «Третичной».

В терминах подхода (2), возможных видов контекста, каждая ОВУ имеет свой собственный подход для представления контекста. В дополнение к ролям, отношениям, продуктам и тому подобному существует контекст или перспективы, в которых семантика какого-либо элемента модели или общего приложения и использования элемента модели или некоторого набора терминов может быть контекстуализирована. Покажем как некоторые основные вопросы могут быть рассмотрены в ОВУ.

- **Где**: географический регион, местоположение, названное место, ниша, окружающая среда и т.д.
- **Когда**: время, дата, эпоха и т.д.
- **Что**: системы можно рассматривать как контекст чего-то, причём среды рассматриваются как виды системы, так что любой организм нуждается в понимании в его среде. Например, онтология среды, разработанная Консорциумом ENVO, определяет концепцию материальной системы как «материальную сущность, состоящую из нескольких компонентов, которые причинно интегрированы» (Buttigieg et al., 2013).
- **Кто**: роли рассматриваются как виды контекста в общем разделении ОВУ Игрок - Роль - Контекст. Сама роль, как конструкция ОВУ, может быть разделена на реляционную, процессуальную и социальную роли. Социальная роль отражена в онтологии социальных понятий Сирла, где формулировка «X считается как Y в C» является специализацией этой общей картины.

Понятие детализации, как во времени, так и в пространстве является ещё одним типом контекстуализации, не включенным в основные вопросы. Гранулярность - это то как какая-то часть мира концептуализируется некоторым агентом и является способом представления каждой концепции в онтологии агента. Другими словами, гранулярность - это то как мир «вырезается по краям», зависит от масштаба этой резка, например, атомной, молекулярной, клеточной, животной, региональной, галактической и т.д. Для каждого из вышеуказанных основных вопросов и их гранулярности ОВУ обычно имеет понятия, которые образуют широкие категории, кото-

рые могут быть классифицированы различными видами этих контекстуальных понятий - роли, события и т.д. До сих пор в этих исследованиях отсутствует «Почему?», т.е. цель, и неясно, является ли это особой проблемой, считая, что она не принадлежит онтологии, или это то, что может быть применено только к онтологии в целом. Например, почему используем эту онтологию, этот набор представлений, чтобы что-то сделать? Пример цели или функции как части явно контекстуализированной деятельности приведён в Общей системе оценки онтологии (GOEF) (Luciano, 2013, Slides 7 и 8).

Возможно, что подходы (1) и (2) могут быть объединены или могут рассматриваться как реализации одной идеи; что различные базовые вопросы и их декомпозиции, являясь разделами многих ОВУ, могут выступать (или, в случае ролей, определяться) каким-то контекстом. Контексты отношений с клиентами и конкретными потребителями продукта указывают на возможную иерархию ролей и соответствующую иерархию контекстов. Одна из исследовательских проблем, которая заслуживает дальнейшего изучения, – является ли эта модель общим принципом организации для всех или большинства идентифицированных типов контекстов, возможно, с гранулярностью или масштабом в качестве дополнительной отличительной особенности.

Третий подход заключается в том, что всё в данном предмете является контекстом для всего остального. Учитывая широкий характер основных вопросов, возможно, что большинство или все концепции, к которым относится любая данная концепция, в любом случае будут соответствовать тем или иным вопросам и их деталям. Это сделало бы (3) совместимым с подходами (1) и (2).

Учитывая предположение о том, что онтология может строго описать ранее неявные концепции, реальный процесс поиска полного контекста не может быть завершён. Включить все возможные «контекстуальные» вопросы в онтологию означало бы создать онтологию всего - мифическую и совершенно бесполезную копию мира один к одному. Поэтому, даже после включения множества контекстных вещей в онтологию, она всё ещё существует в некотором контексте и интерпретируется в этом контексте. Однако ОВУ и, следовательно, контекст, который она предоставляет, по-прежнему различимы как идентифицируемая часть общей онтологии. Соответственно, то, что рассматривалось как два отдельных понятия контекстных классов – вещей, которые являются видами контекста, организованного в некоторой ОВУ, в сравнении с контекстом, в котором используется онтология, на самом деле является одним и тем же основным понятием контекста. Различные применения онтологии будут иметь место в разных контекстах, и многие вещи, которые могут считаться контекстом, могут быть включены в какую-то онтологию, чтобы контекстуализировать другие элементы этой онтологии.

Эти соображения приводят к выбору модели развития онтологий вида «колесо со спицами», популяризованному Барри Смитом (Smith, 2018, слайд 40). Этот подход создаёт дерево онтологий, где каждая онтология расширяет существующую. В некоторых областях, особенно в биомедицине, этот подход был очень успешным. Хотя корень дерева рассматривается как «ОВУ»; на самом деле, каждая онтология является ОВУ для его дочерних онтологий в дереве. Например, онтология химии может быть использована для структурной химии или для химической безопасности.

Итак, существует онтология контекстов, а также контекст онтологии. Онтология контекстов - это просто онтология; самые широкие категории видов вещей, которые можно рассматривать как контекст для других вещей, составляют ОВУ. Это понятия Кто, Что, Когда, Где и Как, которые, наряду с другими аспектами онтологии, такие как масштабы или декомпозиция, иерархии ролей, отношений, описания систем, процессов, функций и т.д., составляют контекст для любой данной концепции.

## 4.2 Происхождение

Происхождение - это информация об объектах, действиях, инструментах и людях, участвующих в создании части данных или вещей, которые могут быть использованы для формирования оценок качества, надёжности или достоверности. PROV - рекомендация W3C для представления происхождения. PROV предоставляет определения для доступа к информации о происхождении, проверки его, представляя этапы обработки. Цель PROV - обеспечить широкую публикацию и обмен опытом в Интернете (PROV-Overview, 2013).

PROV состоит из базовой онтологии, называемой начальной точкой, набора так называемых расширенных классов и свойств, а также набора квалифицированных классов и свойств. Ядро состоит из трёх классов: prov: Entity, prov: Activity и prov: Agent; и девяти свойств, таких как prov: wasGeneratedBy, prov: wasDerivedFrom и т.д. Учитывая общий характер основных классов, PROV можно рассматривать как ОВУ. Действительно, учитывая, что по существу любые данные могут быть данными происхождения, PROV должен быть ОВУ. Многие из классов и свойств расширенного класса являются подклассами и подвариантами основных классов и свойств. Ожидается, что конкретные применения PROV добавят дополнительные подклассы и подсвойства. Квалифицированные классы являются подтверждением свойств ядра для поддержки определения происхождения (PROV-O, 2013).

### 4.3 Микротеории

Понятие микротеории (МТ) было введено Сусорп, который разработал большую библиотеку МТ (Сусорп, nd). МТ является относительно небольшой, многократно используемой онтологией. МТ могут различать происхождение фактов и предоставлять мета-утверждения о фактах, точно так же, как это требуется для определения контекстов. В базе знаний Сус интерпретация каждого факта и каждого вывода локализована в определённом регионе «контекстного пространства», и все выводы включают только факты, которые видны из этого контекстного пространства.

Изучение понятия МТ полезно для предоставления языка, на котором можно рассмотреть вопрос решения кажущейся невозможной задачи определения всего контекста предмета. МТ не являются некоторым отдельным представлением предмета, которое несовместимо с другими представлениями одного и того же или смежного предмета. Скорее МТ принимает форму модуля общей онтологии, так что для того, чтобы рассуждать по какой-то определенной теме, нужны только более широкие понятия, относящиеся к этому предмету, и к понятиям, упомянутым в его свойствах.

Предложенная здесь аналогия состоит в том, что если общая эталонная онтология похожа на стены темной комнаты, то освещение части этой комнаты приравнивается к рассмотрению контекста этой части онтологии. Свет может охватывать более широкую или узкую область, но не будет охватывать всю онтологию за один раз. Возможности мира, которые были представлены как явные онтологические классы, не всегда должны упоминаться одновременно. И сама комната, конечно, заканчивается где-то.

### 4.4 Расширение логики первого порядка для определения контекстов

Сусорп МТ обычно определяют как логические теории. Логика первого порядка (ЛПП) является основным методом для определения логических теорий. Поскольку онтология является логической теорией, ЛПП - это язык для богатых онтологий. Стандартным синтаксисом для ЛПП является Common Logic (CL) (Delugach, 2005). Хотя можно указать любую онтологию, используя CL, у неё нет механизма для определения контекста, кроме неофициальных комментариев и аннотаций. ICL является расширением CL (Hayes & Menzel, 2006).

На сессиях саммита Джон Сова представил введение в ICL и показал, как его можно использовать для определения контекстов (Sowa, 2018). Хотя ICL потенциально может быть эффективным языком для выражения контекстной информации, он пока ещё не используется, поэтому его потенциал остаётся нереализованным.

Другое расширение логики для контекста называется «Описание логики контекста» (ОЛК), которые расширяют дескрипционную логику (ДЛ) для контекстных рассуждений (Klarman & Gutierrez-Basulto, 2016). Этот подход происходит от традиции Дж. Маккарти рассматривать контексты как формальные объекты, по которым можно количественно выражать свойства первого порядка, что аналогично подходу, используемому в ОТС, за исключением того, что ОТС относится к первому порядку. ОЛК основано на двумерной семантике, где одно измерение представляет собой обычную ПрО, а другое измерение - область контекстов. В этом подходе есть два взаимодействующих языка ДЛ - язык объекта и язык контекста, интерпретируемые по их соответствующим ПрО. ОЛК отличается от ICL тем, что оно основано на ДЛ, а не на CL. Преимуществом этого является то, что оно более совместимо с SemanticWeb. ОЛК создано относительно недавно и известны примеры его применения (Stephen & Nahmann, 2017).

### 4.5 Другие языки

Онтология иерархии шаблонов (HTemp) состоит из 150 шаблонов, которые могут быть использованы для включения контекстной информации (Zarri, 2017).

RDF++ расширяет RDF, позволяя добавлять метаданные к каждому факту RDF. Метаданные могут включать в себя происхождение, время, местоположение информации и т.д. в виде метаданных RDF триплетов (Nguyen, 2017). RDF++ является лёгким расширением RDF, поэтому он обладает отличным потенциалом для поддержки средств SemanticWeb и Linked Data. Другие примеры включают четвёрки RDF, аннотированные RDF и контекстуализированные хранилища знаний. Это относительно новые парадигмы, которые вводят новые возможности в практику инженерии знаний.

## 5 Открытая сеть знаний

Инициатива ОСЗ возникла из наблюдения, что сущность-ориентированные базы знаний в виде «графов» теперь кажутся повсеместными. Структурированные «знания» используются в личных помощниках для потребительских/поисковых приложений, но это знание является частным и, следовательно, может трудно распространяться для других целей. ОСЗ - это создание пространства для публичных знаний в форме ГЗ, состоящего

из устойчивой экосистемы данных. Основываясь на этом хранилище общественных знаний, приложения могут быть построены поверх этого для таких Про, как биомедицина, производство и геофизика. В целом процесс ОСЗ можно визуализировать как создание приложения с использованием знаний, формализованных в ГЗ тремя шагами, каждый из которых включает в себя некоторый контекст следующим образом:

- 1) *Сбор данных.* Использование веб-сканеров для поиска соответствующих веб-страниц и извлечения необходимого контента из этих источников (Web Crawler, nd).
- 2) *Структурирование данных.* Встраивание данных в одну или несколько онтологий.
- 3) *Построение ГЗ.* Когда будет найдена связанная информация, необходимо определить сходства и построить связи для расширения ГЗ.

Сбор данных начинается с обращения к источникам, таким как Интернет, для идентификации и извлечения соответствующей информации. Чтобы помочь в повторном использовании и понимании данных, некоторая информация об источниках должна быть контекстуализирована. Кроме того, извлечённые материалы должны быть «структурированы» для приложений, а это значит, что информация о дополнительной структуре становится частью контекста уточнённой информации. Последующий этап идентификации объекта использует фоновые онтологии и конструкцию ГЗ, которая предполагает выбор минимального знания «дерева», связывающего все семантические типы и имеет собственный контекст построения. Таким образом, ОСЗ и его итоговый ГЗ включают множество контекстов, которые необходимо документировать (NITRD, 2017).

## 5.1 Техники сбора информации для ОСЗ

### 5.1.1 Приложения, ширина и глубина знаний

В рамках саммита был описан базовый подход ОСЗ, используемый для извлечения информации из веб-ресурсов и государственных ресурсов и использования лёгких методов и инструментов, таких как schema.org для создания ОСЗ. Это знание становится ресурсом для других приложений, построенных поверх сети. К сожалению, это означает, что учитывается не очень много контекстуальных проблем, связанных с глубокими онтологиями. Онтология, используемая для предоставления схемы для ГЗ, может быть относительно простой и не связанной с предшествующей онтологической работой.

### 5.1.2 Семантический веб и другие источники

Как часть подхода к связанным данным, знания ОСЗ могут быть опубликованы в лёгкой форме в виде RDF и RDF-графов. Однако, вероятно, потребуется более богатый подход, например, использование MT Susorp. Важной целью ОСЗ в будущем является выявление некоторых основных проблем исследований, таких как объём, характер и точность, с которыми следует указывать контекст при извлечении информации. Хотя лёгкие усилия могут быть достаточными для начала, в некоторых областях более формальная семантика будет необходима, чтобы избежать семантических проблем и обеспечить лучшее повторное использование.

### 5.1.3 Инжиниринг контекстуальных знаний

Существует потребность в формальном механизме для определения контекста. Стремясь удовлетворить эту потребность, необходимо достичь понимания контекстуализации, которое могло бы быть включено в инженерную практику. Определённые усилия по связыванию контекстуальной информации уже ведутся, например, RDF++ является одним из таких проектов.

Все подходы в разделе 4 расширяют способность представлять людей, понятия, свойства и их отношения с возможностью документировать некоторый соответствующий выбор контекстов. В дополнение к этим возможностям, необходимо отделить онтологическое знание сущностей, понятий и т.п. между этими контекстами (Nomola, Serafini, & Taminlin, 2010), доработать инструменты и технологии ОСЗ, чтобы упростить и ускорить создание и проверку ГЗ, а также новых приложений, основанных на знаниях. Одной из важных и трудных целей является контекстуализация баз знаний, путём быстрого добавления MT и, возможно, с небольшим участием человека (Taylor et al., 2007). При этом необходимо контекстуализировать добавленные MT на метауровне.

### 5.1.4 Возможное использование микротеорий

Практически не существует примеров использования MT вне Susorp. В ОСЗ есть возможность использовать MT для создания небольшого числа широких контекстов рассуждений, начиная с высокоуровневых абстрактных знаний, которые расширяются в конкретные контексты для использования в приложениях. Полезен был бы исследовательский проект, чтобы проверить, будет ли эта идея ценной на раннем этапе работы ОСЗ, как для определения требуемых усилий, так и для определения преимуществ, которые она могла бы предоставить.



## 5.2 Проблемы исследований ОСЗ

### 5.2.1 Отбор источников с контекстом и аннотацией

Одной из проблем исследования, рассмотренных ОСЗ и другими проектами, является проблема поиска контекста. Существует много источников данных и типов, которые можно рассматривать как источники для ОСЗ ГЗ в семантической сети. В качестве исследовательской тактики первичные результаты могут быть получены путем обработки триплетов и связанных с ними данных, поскольку их структурирование помогает легко извлекать факты. В некоторой степени они уже приходят с некоторой контекстной информацией, такой как расположение URL-адреса «факта».

Тем не менее, для создания высококачественного ГЗ может потребоваться исследование происхождения разных данных и определение того, какие выборки должны быть добавлены к ГЗ, а какие следует отбросить, чтобы избежать конфликтов. В некоторых случаях важна классификация извлечённой информации, и некоторые источники могут быть лучше документированы с помощью метаданных, чтобы сделать эту задачу более простой. Однако, если используется иерархия МТ, для определения того, где поместить предметную информацию в общую иерархию, может потребоваться довольно много контекста. Чтобы решить такие проблемы с конфликтом, необходимо будет зарегистрировать происхождение каждого узла и края в ОСЗ ГЗ. Происхождение на этом уровне детализации может быть трудноуправляемо, и сложные методы, такие как PROV Ontology (PROV-O, 2013), обычно не использовались в создании ГЗ.

### 5.2.2 Глубина и формальность представления

Важными для семантического сообщества являются вопросы о лучшем языке представления, о глубине и деталях контекста (Paulheim, 2017). Эволюционный путь к развивающемуся контексту в идеале должен привести к богатой и детализированной онтологии. То, что возможно с использованием современных технологий, является открытым вопросом, поскольку данные могут быть определены в разных контекстах или уточнены с использованием различных онтологий.

Поскольку основной целью ОСЗ является открытое предоставление знаний широкой аудитории, проблема заключается в том, как организовать и хранить знания для эффективного доступа к ним. Лёгкий путь заключается в использовании хранилища RDF триплетов, но возможно более богатое и полезное представление.

### 5.2.3 Усовершенствование инженерных практик

Важно включить контекстуализацию в инженерную практику. Для ОСЗ это должно включать руководство и передовую практику для извлечения и создания ГЗ, а также как очищать, совершенствовать и организовывать их с помощью онтологий. ОСЗ создаёт набор инструментов и технологий, повышающих скорость построения ГЗ и связанных с ними контекстов.

## 6 Наиболее важные проблемы и вопросы для исследования

### 6.1 Инженерная практика

Несмотря на явную необходимость в формальном уточнении контекста, такая информация в основном является неофициальной и специальной в современной инженерной практике. Помимо разработки языков, парадигм и инструментов, важно предоставить проверенные, хорошо обоснованные рекомендации по лучшей практике, основанные как на теоретических соображениях, так и на опыте. Легче захватить контекст во время процесса разработки, чем пытаться обнаружить его после.

### 6.2 Поиск контекста

Проблема заключается в нахождении контекста какого-то предмета, т.е. как определить достаточный уровень описания контекста для оперативных целей? В этой общей проблеме существует множество конкретных проблем. Могут ли быть использованы материалы для разработки темы, такие как объём, вопросы компетенции, бизнес-требования и «варианты использования»? Если да, то как? Где и как мы ищем то, что имеет значение? Какова физическая ситуация, явная или неявная повестка дня? Каковы общие цели (или цель), которые привели к текущей деятельности? Будущие разработки контекстов должны быть способны обрабатывать динамический характер контекста как ситуации, события и области онтологий, а также встроены или связанные с ними изменения данных.



### 6.3 Ограничение контекста

Обратная сторона поиска контекста - обеспечение того, что он не слишком велик и позволяет избежать «шума». Как ограничивать и очищать контекст, чтобы можно было эффективно рассуждать, но все же иметь достаточный охват для оперативных целей? Каков надлежащий уровень детализации? Как при поиске контекста более эффективно выбирать уровень детализации, ограничивать и очищать контекст во время процесса разработки, а не после его завершения.

### 6.4 Масштабируемость контекста

Как можно обеспечить масштабируемость в условиях необходимости всё более сложные контекстов? Онтологический саммит 2014 года рассмотрел проблемы, представленные большими данными, и некоторые из решений этого саммита могут быть применимы для больших контекстов (Grüninger et al., 2014). Однако проблема масштабируемости больших контекстов будет иметь свои особенности, поскольку даже малые субъекты могут иметь очень большие контексты.

### 6.5 Язык контекста

Какой язык следует использовать для представления контекстов? Можно использовать существующие языки онтологии. Это подходы OBU, PROV и MT. Можно также расширить существующие онтологические языки. Это подход, применяемый ICL, ОЛК, RDF++ и многими другими. Какой бы язык ни использовался, важно отличить контекст от его предмета и чётко указать отношения между ними. Для определения преимуществ и недостатков различных возможностей необходимы дополнительные эксперименты и опыт.

### 6.6 Пересечение контекстуальных границ

Где онтологии или системы независимо определяются с различным контекстом и терминологией, как можно согласовать различные концептуализации в таких областях, как проектирование систем? Проблема интероперабельности и идеи перекрестных онтологий была рассмотрена на Онтологическом саммите 2016 (Fritzsche et al., 2017).

### 6.7 Релевантность лингвистики

Известно, что работа в области лингвистики в целом и НЛП имеет отношение к разработке онтологий (Baclawski et al., 2018). Проблема заключается в том, какая часть работы в лингвистике относится к контексту, имеет отношение к формальным контекстам информационных систем. Задача состоит в том, чтобы извлечь большие уроки из этих областей и интегрировать их в общую структуру.

### 6.8 Вложенные контексты

Как можно отличить то, что принадлежит контексту от того, что принадлежит предмету, контекстуализировано? Сложная система может иметь несколько уровней абстракции и, следовательно, множественные уровни контекста. Они могут вкладываться линейно, но в принципе также могут возникать более сложные взаимосвязи. Например, независимо разработанные онтологии могут легко противоречить друг другу, но всё же можно рассматривать их как контексты для какого-то предмета. Например, ОТС допускает противоречивые утверждения, если утверждения находятся в разных ситуациях.

### 6.9 Цель

Один из основных вопросов: «Почему?», и ответ на это даёт цель или намерение для субъекта, или, по крайней мере, для того, почему вы фокусируетесь на предмете. Представление цели формальным образом может быть полезно, хотя есть некоторые разногласия относительно того, насколько это полезно. Это важная исследовательская проблема, чтобы формально указать цель.

### 6.10 Логика высших порядков

Некоторые онтологии для определения контекста, такие как ОТС, используют логику более высокого порядка. Однако на практике, как правило, можно избежать более высокой логики при построении систем, кото-

рые используют контекст, таких как системы повышения осведомленности о ситуации. Вопрос о том, нужно ли иногда использовать логику более высокого порядка для определения контекста, остаётся нерешённым.

## Список источников

- Allemang, D. (2018). *FIBO and Cesium*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2KkfM4m>
- Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Fritzsche, D., Schneider, T., Sharma, R., . . . Westerinen, A. (2018). Ontology Summit 2017 Communique: AI, Learning, Reasoning and Ontologies. *Applied Ontology*, 13(1), 3–18.
- Baldauf, M., Dustdar, S., & Rosenberg, F. (2007). A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 2(4), 263-277.
- Barenfanger, M., et al. (2008). OWL ontologies as a resource for discourse parsing. *LDV Forum*, 23(1).
- Bennett, M. (2018). *Upper ontologies for specifying context*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2FDL5te>
- Brinkley, J., Suci, D., Detwiler, L., Gennari, J., & Rosse, C. (2006). A framework for using reference ontologies as a foundation for the semantic web. *AMIA Annu Symp Proc*, 96-100. Retrieved on June 3, 2018 from <http://bit.ly/2JnXRwV>
- Buttigieg, P., et al. (2013). The environment ontology: contextualising biological and biomedical entities. In *Journal of Biomedical Semantics* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1186/2041-1480-4-43>
- Buttigieg, P., et al. (2016). The environment ontology in 2016: bridging domains with increased scope, semantic density, and interoperability. *Journal of Biomedical Semantics*, 7(1), 57.
- Cambria, E., & White, B. (2014). Jumping NLP curves: A review of natural language processing research. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 9(2), 48–57.
- Casanave, C. (2018). *Context aware ontologies*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2Epjyrl>
- Categories (Peirce). (nd). Wikipedia. Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/1x81Q5A>
- Chen, H., Finin, T., & Joshi, A. (2003). An ontology for context-aware pervasive computing environments. *The Knowledge Engineering Review*, 18(3), 197–207.
- Creps, R., Polzer, H., Yanosy, J., Sutton, F., Jones, A., Ford, R., . . . Schneider, T. (2008). *Systems, capabilities, operations, programs, and enterprises (scope) model for interoperability assessment version 1.0*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2JznDKO>
- Cycorp Website. (nd). Retrieved on May 23, 2018 from <http://www.cyc.com>
- Delugach, H. (Ed.). (2005). *Common Logic - A framework for a family of logic-based languages*. ISO/IEC JTC 1/SC 32N1377, International Standards Organization Final Committee Draft
- Firstness. (nd). Mirriam-Webster. Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/2KPgEOI>
- Fritzsche, D., Gruninger, M., Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Obrst, L., . . . Westerinen, A. (2017). Ontology Summit 2016 Communique: Framing the Conversation: Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. *Applied Ontology*, 12(2), 91–111.
- Groth, P., & Moreau, L. (Eds.). (2013). *An overview of the PROV family of documents*. Retrieved on May 17, 2018 from <http://bit.ly/2L46MSd>
- Gruninger, M., Obrst, L., Baclawski, K., Bennett, M., Brickley, D., Berg-Cross, G., . . . Yim, P. (2014). Ontology Summit 2014 Communique: The Semantic Web and Big Data meet Applied Ontology. *Applied Ontology*, 9(2), 155-170.
- Hayes, P. (1997). Contexts in context. In *AAAI Fall Symposium*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2jf0BBa>
- Hayes, P. (2012). Situations, contexts, states of affairs, and the limits of formalization. In *IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2EKdVTq>
- Hayes, P., & Menzel, C. (2006). *IKL specification document* (Tech. Rep.). IKRIS Interoperability Group. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2rEif2D>
- Homola, M., Serafini, L., & Tamilin, A. (2010). Modeling contextualized knowledge. In *Proc. 2nd Workshop on Context, Information and Ontologies (CIAO 2010)* (Vol. 626).
- Kachroudi, M., Diallo, G., & Ben, S. Y. (2017). On the composition of large biomedical ontologies alignment. In *Proceedings of the 7th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*. ACM.
- Klarman, S., & Gutierrez-Basulto, V. (2016). Description logics of context. *Journal of Logic and Computation*, 26(3), 817–854.
- Kokar, M., Mathews, C., & Baclawski, K. (2009). Ontology-based situation awareness. *Information Fusion*, 10(1), 83–98.
- Lebo, T., Sahoo, S., & McGuinness, D. (Eds.). (2013). *PROV Ontology (PROV-O)*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2xPcx2k>
- LISI. (1998). *Levels of Information Systems Interoperability*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2HU7M7f>
- Luciano, J. (2013). *The General Ontology Evaluation Framework (GOEF): A proposed infrastructure for the ontology development lifecycle*. Retrieved on June 3, 2018 from <http://bit.ly/2JrUXar>
- Malone, J., & Parkinson, H. (2010). *Reference and application ontologies*. Cambridge, CB10 1SD, UK.
- Nguyen, V. (2017). *Semantic web foundations for representing, reasoning, and traversing contextualized knowledge graphs*. Ph.D. Thesis NEM website. (2017). National Information Exchange Model of the Office of the Director of National Intelligence. Retrieved on June 2, 2018 from <http://bit.ly/2Lcm1re>
- NITRD. (2017). *Big Data Interagency Working Group: 3rd Workshop on an Open Knowledge Network*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2rDrTm8>
- Ontology Summit 2014: Big Data and Semantic Web Meet Applied Ontology. (2014). Retrieved December 9, 2017 from <http://bit.ly/2xPFiID>
- Paulheim, H. (2017). Knowledge graph refinement: A survey of approaches and evaluation methods. In *Semantic web* (Vol. 8.3, pp. 489–508). *Peirce's Triad*. (nd). Stanford Encyclopedia of Philosophy. Retrieved on May 23, 2018 from <https://stanford.io/2KPhoU0>
- Perera, C., et al. (2014). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1), 414–454.
- Polzer, H. (2018). *Data/entity representation in different contexts and frames of reference*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2KgxDJC>
- Smith, B. (2018). *Response to john sowa at the ontology summit 2018*. Retrieved May 23, 2018 from <http://bit.ly/2row7xT>
- Sowa, J. (2017). *Contexts in language and logic*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2JAYapt>
- Sowa, J. (2018). *Representing and reasoning about contexts using IKL*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2xrktla> and <http://bit.ly/2y4h41v>
- Stephen, S., & Hahmann, T. (2017). An ontological framework for characterizing hydrological flow processes. In *LIPICs-Leibniz International Proceedings in Informatics* (Vol. 86). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- Taylor, M., et al. (2007). Autonomous classification of knowledge into an ontology. In *FLAIRS Conference*.
- Web Crawler. (nd). Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/R7Ys74>
- Zarri, G.-P. (2017). Functional and semantic roles in a high-level knowledge representation language. In *Artificial intelligence review*. doi: 10.1007/s10462-017-9571-5

Индекс 29151

## СОДЕРЖАНИЕ

От редакции

МОДНЫЙ ТРЕНД: ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА

**И.Б. Фоминых (Москва)**

ИНЖЕНЕРИЯ ОБРАЗОВ, ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ

**В.В. Попков (Екатеринбург)**

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЗАКОН ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ  
В ПРОСТРАНСТВЕ КОНТРАРНЫХ И КОНТРАДИКТОРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ

**А.М. Бекарев, Г.С. Пак (Нижний Новгород)**

ЭТИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭПИСТЕМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**А.С. Клещёв, В.А. Тимченко (Владивосток)**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ СИСТЕМ  
ВЕРИФИКАЦИИ ИНТУИТИВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ

**А.И. Водяхо, В.В. Никифоров (Санкт-Петербург)**

ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

**В.И. Воробьев, Т.В. Монахова (Санкт-Петербург, Королёв)**

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАДАННЫХ В ФОРМАТЕ XML

**М.А. Грищенко, Н.О. Дородных, С.А. Коршунов, А.Ю. Юрин (Иркутск)**

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

**А.В. Семенова, В.М. Курейчик (Таганрог)**

ОПТИМИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

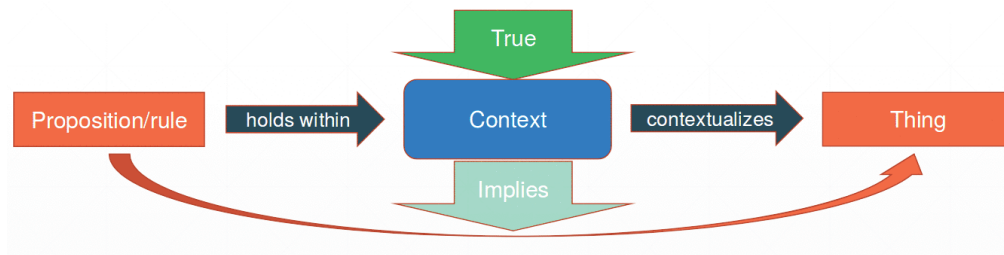
**С.В. Микони (Санкт-Петербург)**

ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ  
С ПОЗИЦИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН

**КОММЮНИКЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО САММИТА 2018 (июнь)**

«КОНТЕКСТ В КОНТЕКСТЕ»

(Перевод с английского - [https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique\\_v12.pdf](https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique_v12.pdf))



*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