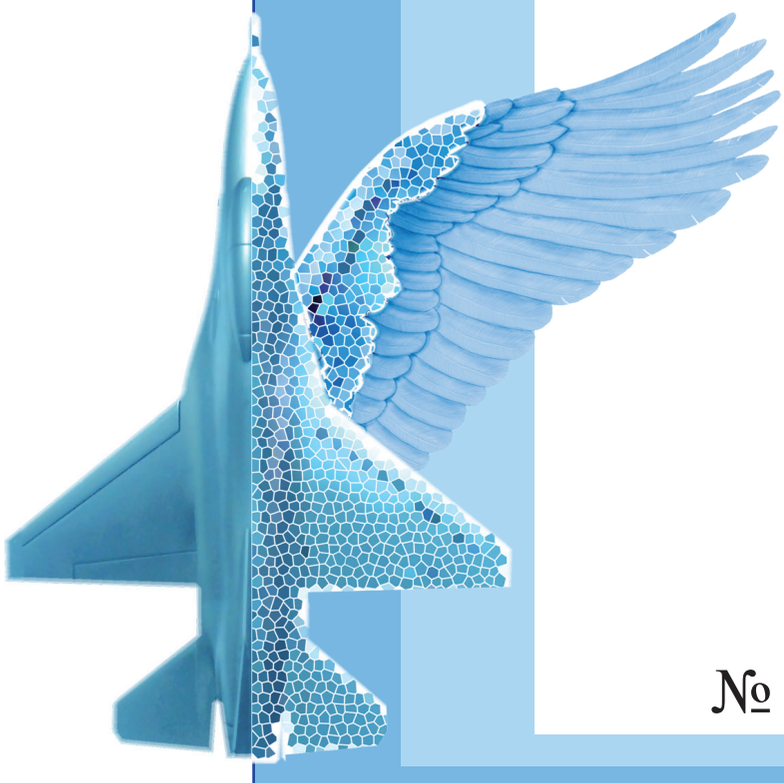
Ontology of Designing
ISSN 2223-9537
Scientific journal

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Номер журнала посвящается Д.А. Поспелову

Том 9
№ 4(34)/2019

Научный журнал

Ontology of Designing – v. 9, №4(34)/2019 – Онтология проектирования

Ontology of Designing
Scientific journal

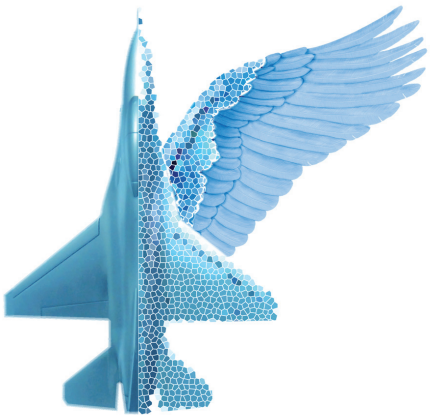
ISSN 2223-9537 (Print)
ISSN 2313-1039 (Online)

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 9

№ 4(34)



2019

ISSN 2223-9537 (Print)
ISSN 2313-1039 (Online)

«ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ»
том 9 № **4**(34)/2019

Индекс - 29151

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 IAOA, 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, ООО «ИнфоВингс», Санкт-Петербург
Valeriya V. **Gribova**	**Грибова** Валерия Викторовна*, д.т.н., с.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Yury A. **Zagorulko**	**Загорулько** Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск
Anton V. **Ivaschenko**	**Иващенко** Антон Владимирович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара
Valery A. **Komarov**	**Комаров** Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Vladik **Kreinovich**	**Крейнович** Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо
Victor M. **Kureichik**	**Курейчик** Виктор Михайлович*, д.т.н, профессор, Южный федеральный университет, Таганрог
Dmitry V. **Lande**	**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**	**Пиявский** Семён Авраамович, д.т.н., профессор, Московский город.педагог.университет, Самара
Yury M. **Reznik**	**Резник** Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва
George **Rzevski**	**Ржевский** Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон
Roman O. **Samsonov**	**Самсонов** Роман Олегович, д.т.н., Российское газовое общество, Москва
Peter O. **Skobelev**	**Скобелев** Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», Самара
Sergey V. **Smirnov**	**Смирнов** Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, член IAOA, Самара
Peter I. **Sosnin**	**Соснин** Петр Иванович*, д.т.н., профессор, УлГТУ, Ульяновск
Dzhavdet S. **Suleymanov**	**Сулейманов** Джавдет Шевкетович*, д.т.н., профессор, академик 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, Нур-Султан
Boris Ya. **Shvedin**	**Шведин** Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член IAOA, Ростов-на-Дону

* - члены Российской ассоциации искусственного интеллекта - http://www.raai.org/about/about.shtml?raai_list

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Lead Editor	**Samsonov R.O.**	Шеф-редактор	Самсонов Р.О.	директор Российского газового общества
Chief Editor	**Skobelev P.O.**	Главный редактор	Скобелев П.О.	директор НПК «Разумные решения»
Deputy Chief Editor	**Smirnov S.V.**	Зам. главного редактора	Смирнов С.В.	зам. директора ИПУСС РАН – СамНЦ РАН
Executive Editor	**Borgest N.M.**	Выпускающий редактор	Боргест Н.М.	директор издательства «Новая техника»
Editor	**Kozlov D.M.**	Редактор	Козлов Д.М.	доцент Самарского университета
Technical Editor	**Borgest D.N.**	Технический редактор	Боргест Д.Н.	специалист Самарского университета
Executive Secretary	**Vlasov S.A.**	Ответственный секретарь	Власов С.А.	аспирант Самарского университета

CONTACTS FOUNDERS – КОНТАКТЫ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

ФИЦ Самарский научный центр 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** 2014-2018 and journal received the ICV (Index Copernicus Value) of **67.46** points (2014), **67.64** (2015), **77.98** (2016), **87.78.** (2017), **85.38** (2018).

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук (Письмо Департамента аттестации научных и научно-педагогических работников Минобрнауки РФ от 01.12.2015 № 13-6518) по научным специальностям 05.13.01, 05.13.17, 05.13.18 и 05.07.02, 05.07.05.

Журнал включён в РИНЦ. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **0,968** (2013), **0.895** (2014), **1.305** (2015), **1.055** (2016), **0.957** (2017), **1.137** (2018).

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 № ФС77-46447 от 07.09.2011 г.)

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

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.
Дата выхода 12.12.2019. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей
© ООО «Новая техника», «New Engineering» Ltd., 2011-2019
© Самарский университет, Samara University, 2015-2019
© ИПУСС РАН - СамНЦ РАН, ICCS RAS, 2015-2019

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

ГДЕ ИСЧЕЗАЮТ ВИРТУАЛЬНЫЕ МИРЫ? **405-406**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Н.М. Боргест **407-428**
СТРАТЕГИИ ИНТЕЛЛЕКТА И ЕГО ОНТОЛОГИИ:
ПОПЫТКА РАЗОБРАТЬСЯ

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.Ф. Хорошевский **429-448**
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОНТОЛОГИЙ:
МОДЕЛИ, МЕТОДЫ, РЕАЛИЗАЦИИ

В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева **449-461**
ОНТОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ

Г.Б. Загорулько **462-479**
МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДДЕРЖКИ
РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СППР

О.Ю. Марьясин **480-495**
РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЗДАНИЙ

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

Ю.А. Загорулько, Н.О. Гаранина, О.И. Боровикова, О.А. Доманов **496-509**
МОДЕЛИРОВАНИЕ АРГУМЕНТАЦИИ
В НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОМ ДИСКУРСЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ

Л.В. Аршинский, А.А. Ермаков, М.С. Нитежук **510-521**
ЛОГИКИ С ВЕКТОРНОЙ СЕМАНТИКОЙ
КАК СРЕДСТВО ВЕРИФИКАЦИИ БАЗ ЗНАНИЙ

Ю.Д. Кленин **522-535**
АКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ
ИЗ ОПИСАНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КУРСОВ
В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ОБЪЁМОВ ДАННЫХ

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

О.Г. Жидкова **536-548**
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОЗИТНЫХ КОРПУСОВ
КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

CONTENT

FROM THE EDITORS

WHERE DO VIRTUAL WORLDS DISAPPEAR? **405-406**

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

N.M. Borgest **407-428**
STRATEGIES OF INTELLIGENCE AND ITS ONTOLOGY:
AN ATTEMPT TO UNDERSTAND

APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING

V.F. Khoroshevsky **429-448**
ONTOLOGY DRIVEN SOFTWARE ENGINEERING:
MODELS, METHODS, IMPLEMENTATIONS

V.V. Gribova, E.A. Shalfeeva **449-461**
THE ONTOLOGY OF DIAGNOSIS OF PROCESSES

G.B. Zagorulko **462-479**
MODEL OF COMPREHENSIVE SUPPORT
OF INTELLIGENT DSS DEVELOPMENT

O.Yu. Maryasin **480-495**
DESIGN OF ONTOLOGIES FOR THE DIGITAL TWIN OF BUILDINGS

ONTOLOGY ENGINEERING

Yu.A. Zagorulko, N.O. Garanina, O.I. Borovikova, O.A. Domanov **496-509**
ARGUMENTATION MODELING
IN POPULAR SCIENCE DISCOURSE USING ONTOLOGIES

L.V. Arshinskiy, A.A. Ermakov, M.S. Nitezhuk **510-521**
LOGIC WITH VECTOR SEMANTIC
AS A MEANS OF KNOWLEDGE BASES VERIFICATION

J.D. Klenin **522-535**
ACTIVE LEARNING APPROACH TO KNOWLEDGE EXTRACTION
FROM DESCRIPTIONS OF EDUCATIONAL COURSES
UNDER CONDITIONS OF SMALL DATA

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

O.G. Zhidkova **536-548**
APPLICATION OF THE METHOD OF PAIRWISE COMPARISONS
IN DESIGNING OF COMPOSITES SPACE TELESCOPES CONSTRUCTIONS

ОТ РЕДАКЦИИ

«ГДЕ ИСЧЕЗАЮТ ВИРТУАЛЬНЫЕ МИРЫ?»[1]
WHERE DO VIRTUAL WORLDS DISAPPEAR?

Ведь, если звёзды зажигают –
значит – это кому-нибудь нужно?
В.В. Маяковский («Послушайте!» ,1914)

Зачем звёзды светятся, … чтобы рано или
поздно каждый мог вновь отыскать свою.
Антуан де Сент-Экзюпери
(«Маленький принц», 1943)

Дорогой наш читатель,
уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

В своих обращениях мы не раз вспоминали и будем вспоминать тех гигантов в науке, на плечах которых зиждутся наши достижения, наше продолжение и развитие идей, теорий и взглядов ушедших героев. 30 октября 2019 года ушёл из жизни один из основоположников искусственного интеллекта (ИИ) в России доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук, первый президент Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ) *Дмитрий Александрович Поспелов*[2].

Активный пропагандист и популяризатор ИИ, инженерии знаний, ситуационного и децентрализованного управления Д.А. Поспелов ещё в 80-е годы опубликовал серию книг[3], на которых выросло целое поколение учёных, посвятивших впоследствии свою жизнь этому увлекательному научному направлению.

Одна из последних работ[1] Д.А. Поспелова, вышедшая в журнале «Новости искусственного интеллекта»[4], посвящена созданию систем виртуальной реальности и связанным с этим проблемам. Развивая идеи Марио Бунге[5] о причинности и её принципе, отмечая важность и очевидность свойства причинности, автор пришёл к выводу, что «граница принятия или непринятия виртуального мира проходит по линии отказа от привычного принципа причинности... Понятия времени, мотива и результата невозможно ввести без опоры на понятие причинной связи. Эта связь в картине мира, свойственной человеку, настолько сильна, что отказ от неё неизбежно приводит к потере контакта с миром, в котором необходимо действовать». Завершает свою работу Д.А. Поспелов присущими ему жизнеутверждающими словами:

«… человек твёрдо верит в то, что «*Если звёзды зажигают, то это кому-то нужно*»».

Д.А. Поспелов – прекрасный онтолог, тонко чувствовавший природу бытия, и эта его во многом обзорная работа - тому подтверждение. Рассуждая о процессах восприятия мира, он

[1] *Поспелов, Д.А.* Где исчезают виртуальные миры? // Новости искусственного интеллекта. №3, 2003. - С.5-10.
[2] Некролог на сайте РАИИ - http://www.raai.org/news/arch_news/2019/10/pospelov-2019-10-30.pdf.
[3] «Логико-лингвистические модели в системах управления» (1981), «Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту» (1982), «Оркестр играет без дирижёра. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими» (1984), «Ситуационное управление. Теория и практика» (1986), «От амёбы до робота: модели поведения» (1987), «Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах» (1988), «Моделирование рассуждений» (1989), «Нормативное поведение в мире людей и машин» (1990).
[4] Архив номеров журнала «Новости ИИ» на сайте РАИИ. - http://www.raai.org/library/ainews/getainews.php?2003.
[5] *Бунге, М.* Причинность. Место принципа причинности в современной науке. - М.: Иностранная литература, 1962. – 512 с.

говорит об «онтологии частей реального мира (онтологии предметных областей)», об «онтологии фантастических миров (например, мира волшебной сказки)», о «моделировании «чистого пространства форм», как это бывает в системах когнитивной графики».

Выбор той или иной онтологии виртуального мира определяется целями, которые ставит перед собой исследователь или пользователь. Д.А. Поспелов задаётся вопросом: «До какого предела может быть искажена онтология реального физического мира, чтобы лицо, погруженное в него, всё-таки могло бы сохранять иллюзию возможности познания этого мира и правил действий в нём?», стремится найти ответы на поставленные им вопросы: «Какие образующие составляют каркас наших представлений о мире? Что для восприятия и сознания определяет возможность его объяснения? Какие нарушения и нелепости мы готовы, в конце концов, принять в онтологию мира, в который мы погружены?».

Д.А. Поспелов приходит к выводу, что «любые нарушения основных законов абстрактной логики в виртуальных мирах вполне допустимы и не приводят к потере понимания онтологии таких миров». При этом его волнует проблема возможности «перемещения во времени назад», которая приводит «к нарушению фундаментального принципа: «Одно физическое тело – одна личность (и наоборот)». Этот принцип лежит в основе той картины мира, которая присуща человеку. Его нарушения всегда вызывали и вызывают до сих пор проблемы с истолкованием наблюдаемых ситуаций. Именно эта опасность подстерегает нас в виртуальных мирах, порождаемых информационными сетями, в которых начинают действовать так называемые «интеллектуальные агенты» (иногда по аналогии с роботами их называют софтботами). Если эти агенты персонифицируют одного и того же пользователя, то в сети возникает несколько «тел» одной личности, сколько их порождено. Несогласование действий этих сетевых двойников может привести к полной потере осмысленности происходящего для их прототипа. Эта проблема … онтологии виртуальных миров и возникающих при погружении в них психологических проблем».

Д.А. Поспелову близка мысль, что «граница между миром художественным и миром реальным проходит не по границе изменения онтологии, а по границе изменения прагматики. Всякое изменение прагматики есть изменение мотивов наших действий, выбора в альтернативных ситуациях, отношения к окружающему миру. Поэтому нарушение прагматических оснований действий, их причинности создают для человека, попадающего в подобный виртуальный мир, наибольшие трудности».

Наследие Дмитрия Александровича Поспелова очень ценно для специалистов по ИИ, для онтологов. Его друзья, ученики чтят его заслуги в науке, в области формализации знаний. Без его работ успехи российских учёных в области ИИ были бы намного скромнее. И наш журнал, стоит признать, использует заложенные им идеи и концепции, которые с успехом развивались в 80-е годы и лишь сейчас находят свою частичную реализацию в «Национальной стратегии развития ИИ». О стратегиях ИИ и его развитии читайте дискуссионную статью в этом номере журнала, который посвящён *Дмитрию Александровичу Поспелову.*

Съезд РАИИ в Ульяновске (УлГТУ) 24.10.2019

Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!

УДК 001.8

СТРАТЕГИИ ИНТЕЛЛЕКТА И ЕГО ОНТОЛОГИИ: ПОПЫТКА РАЗОБРАТЬСЯ

Н.М. Боргест

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия
borgest@yandex.ru

Аннотация

Автор предлагает вступить в дискуссию по вопросам стратегий развития искусственного интеллекта, технологий и систем искусственного интеллекта. Статья предваряется предисловием в форме послания из инобытия, а завершается послесловием в форме обращения к разработчикам искусственного интеллекта. Мотивом написания статьи явилась принятая в России стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. В статье обсуждаются используемые понятия: интеллект, интеллекты индивидуума и социума, их стратегии, искусственный интеллект, онтологии и объяснимый искусственный интеллект, инобытие как онтология проектирования. Приведены ссылки на обзоры стратегий развития искусственного интеллекта, принятые в ведущих странах мира, анализируются стратегии, принятые в России и США. В российской стратегии отмечается наличие критериальных проблем и не согласованность целей и предложенных показателей, отсутствие онтологий предметных областей при разработке систем искусственного интеллекта. В американской стратегии отмечены: сделанные в ней акценты на понятный, заслуживающий доверие, надёжный и безопасный искусственный интеллект; онтологии и стандарты, принятые и разрабатываемые с целью укрепления лидерства США в создании искусственного интеллекта. В заключении делается вывод о важности и необходимости разработки и применения онтологий при создании объяснимых систем искусственного интеллекта, интегрированных в социум.

Ключевые слова: *стратегии, естественный интеллект, искусственный интеллект, онтологии, индивидуум, социум.*

Цитирование: *Боргест, Н.М.* Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4 (34). - С.407-428. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.

Предисловие: послание из инобытия

Дмитрий Александрович Поспелов[1] - инициатор и организатор исследований по искусственному интеллекту (ИИ) в нашей стране - в своей последней статье [1], написанной в жанре фантастического рассказа путешествующих в «инобытие», сформулировал свойство *разумности*, которое «связано с наличием свободы выбора в альтернативных ситуациях и способностью к рефлексии, позволяющей разумному существу ставить себя на место другого существа и прогнозировать возможные решения этого «другого»». В этом лаконичном определении отмечены возможности действий, но не нашли отражения принципы и критерии оценки этих действий, характерные атрибуты разумных существ. Очевидно, что гиппократовский принцип «не навреди» по умолчанию присутствует у разумных существ, как впрочем, и важное свойство «игра в долгую», когда действия текущие имеют стратегически позитивный результат. Но главной итог этой его работы об «облаке» – предостережение, которое он выразил в иносказательной форме: «Возможно, что атомный гриб нарушил связь

[1] См. статью «*От редакции»* в этом номере журнала, посвящённую Д.А. Поспелову (19.12.1932 – 30.10.2019)

миров: наши обладающие б*о*льшими знаниями братья по разуму отшатнулись от нас, сделавших первый роковой шаг на пути к собственной гибели» [1]…

Вот и Римский Клуб, с момента своего образования озабоченный будущим человечества, стремится дать вектор, показать и обосновать текущие проблемы, указать стратегию для мировой элиты. Подавляющее большинство ежегодных его отчётов подтверждают приверженность Клуба быть интеллектуальным чувствительным датчиком цивилизации. Но пока это лишь «глас вопиющего в пустыне».

Наша цивилизация, как некая организованная сущность социальных млекопитающих, не обладает всеобщим интеллектом, вернее – этот естественный сформированный эволюцией разум - есть, он проявляет себя в совместных и согласованных действиях, не имея до прихода Интернета общего хранилища и коммуникатора между активными особями. Этот разум через своих продвинутых индивидуумов видит и понимает происходящее, но не вполне осознаёт изменения, которые им же инициированы в собственной и, как оказалось, очень ограниченной для него среде обитания. Обратная связь включается только тогда, когда сигнал изменений доходит до элиты[2], до «её жизненно-важных органов», только тогда срабатывает рефлексия. Что касается теории В.И. Вернадского о ноосфере (сфере разума), то с утверждением о состоявшейся уже реальности ноосферы трудно согласиться, в то время как неотвратимость её наступления, по мнению автора, очевидна.

В отличие от юбилейного отчета[3] Римского Клуба отчёт «Прекрасное будущее»[4] показывает, что у человечества есть «шанс построить восстановительную экономику посредством сочетания просвещённого предпринимательства, технологий и инновационной политики. Авторы - мировые лидеры в области бизнеса, экономики и устойчивого развития - рисуют в общих чертах принципы восстановительной экономики и детализируют стратегическую дорожную карту для её достижения, в которой - *повышение благосостояния людей*». Ободряющие декларации о благе народа можно слышать от его «слуг» в разных формах как в странах реальной, так и виртуальной демократии, начиная со времён Платона до наших дней. Пока же элита идёт по сценариям, описанным ещё на рубеже тысячелетия:

«Элита получит б*о*льший контроль над массами; а в силу того, что человеческая работа больше не будет необходима, массы окажутся лишним, бесполезным бременем на системе. Если элита безжалостна, они могут просто решить истребить большую часть человечества. Если же гуманна – то могут использовать пропаганду или другие психологические или биологические методы, чтобы уменьшить коэффициент рождаемости, пока большинство не вымрет, оставив мир элите. Или, если элита состоит из мягкосердечных либералов, то они могут решить поиграть роль хороших пастухов по отношению к остальной части человеческой расы» [2].

Эти мрачные прогнозы базируются на жестокости и неравенстве, свойственным сущностям органического мира, о которых в своё время писал теоретик и философ космонавтики К.Э. Циолковский:

«…Равенства в мире органическом, очевидно, быть не может. Человек уничтожает вредные и ненужные ему растения, хищных или ядовитых и бесполезных животных... Отчего же такая *жестокость*. Ясно, что от неравенства устройства тел, от неравенства органических существ. Человек сильнее и уничтожает своих неразумных и слабых врагов… Но такое же *неравенство* существует и между людьми... нравственные и умственные качества людей безмерно различны. Один ленив, другой умирает в труде. Один туп до того, что не умеет считать и не может одолеть грамоту, другой изобретает высшую математику, открывает устройство мира и его законы. Один всегда лжет и лукавит, другой правдив. Один жесток, другой добр. Один заботится о семье и близких, другой - только о самом себе. Один силён, другой калека. Один красив, другой безобразен…» [3].

Возможно, эволюционно это верно и оправданно в дикой природе, но просвещённое человечество не может мириться с этим и надеется, что разум выработает более гуманную стратегию развития человечества, как отмечал В.И. Вернадский в теории о ноосфере.

---

[2] Элита – устойчивая общность с глубокими связями входящих в неё людей, осуществляющих управление социумом и выработку моделей общественной жизни.

[3] См. статью «*От редакции»* в 1 номере журнала за 2018 «COME ON!».

[4] https://www.clubofrome.org/report/a-finer-future/

«…*человеческий мозг* — это пустой чердак, куда можно набить всё, что угодно. Дурак так и делает: тащит туда нужное и ненужное… В моём чердаке только необходимые мне инструменты».

Шерлок Холмс (А.К. Дойл «Этюд в багровых тонах»)

«*Искусственный интеллект* — это будущее всего человечества. Здесь колоссальные возможности и трудно прогнозируемые угрозы. Тот, кто станет лидером в этой сфере, будет *властелином мира».*

В.В. Путин

Введение: мотив и истоки

Достижения информационных технологий позволили обратить внимание правительств развитых государств на ИИ с благими целями, которые присутствуют в принятых декларациях этих государств. Языковые, культурные и ментальные различия стираются, но ещё существенны, а разница материального благополучия граждан, возможность доступа к различным ресурсам и услугам, к сожалению, не способствуют гармоничному развитию обществ.

Основным побудительным мотивом написания статьи именно сейчас явилась принятая 10.10.2019 г. в России «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» [4].

За годы своего эволюционного развития природный, биологический или естественный интеллект (ЕИ) человека и интеллект социума в целом позволил активно взяться за создание ИИ. Исследования и разработки по ИИ вышли из лабораторий и активно вторгаются в нашу обыденную жизнь. Быстро растёт число функций, традиционно считавшихся присущими лишь ЕИ, которые с б*о*льшей эффективностью выполняются программными системами и робото-техническими устройствами. Глобальный Интернет стёр границы государств, позволил беспрепятственно коммуницировать всем жителям Земли и претендует на хранилище всех человеческих знаний, которые стали доступными. Это позволяет надеяться на синергию от приобщения всех жителей Земли к знаниям и вовлечения их в позитивный процесс приращения новых знаний.

Первые успехи в разработке научных основ и технологий ИИ в России, по мнению автора, приходятся на 80-е годы прошлого столетия, когда вышла серия книг проф. Д.А. Поспелова[5], монографии академиков Г.С. Поспелова [5] и В.М. Глушкова [6], был подготовлен трёхтомник «Искусственный интеллект» [7], активно велись работы по автоматизации многих процессов, включая проектирование сложной техники [8-10]. В этих и других работах ИИ рассматривался как одно из научных направлений информатики, а «предметом его исследований является создание вычислительных систем, обладающих следующими свойствами: имитация творческих процессов; логический вывод; восприятие естественно-языковых запросов и команд; аккумуляция знаний в ЭВМ» [5]. Тогда же была создана Советская ассоциация ИИ, впоследствии реорганизованная в Российскую ассоциацию ИИ (РАИИ)[6].

Если попытаться представить наличие некой обобщённой стратегия ЕИ, то она во многом неопределённая и в большинстве случаев отсутствует по многим причинам. Стратегия же ЕИ индивидуума в силу конечности бытия и в определённой степени осознания этого сводится для многих к удовлетворению обыденных потребностей, где безопасность и физио-

[5] «Логико-лингвистические модели в системах управления» (1981), «Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту» (1982), «Оркестр играет без дирижёра. Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими» (1984), «Ситуационное управление. Теория и практика» (1986), «От амёбы до робота: модели поведения» (1987), «Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах» (1988), «Моделирование рассуждений» (1989), «Нормативное поведение в мире людей и машин» (1990).

[6] Официальный сайт РАИИ - http://raai.org.

логические нужды соперничают с самореализацией в социуме. Стратегия ЕИ социума – это «забота» и интерес государств и союзов государств о своём сосуществовании. Видимо, это и определило активное намерение государств участвовать в освоении, контроле и управлении процессами в области ИИ.

«Предел» человеческой потребности, описанный великим А.С. Пушкиным в «Сказке о рыбаке и рыбке» в виде желания быть «владычицей морской», греет душу амбициозным политикам. А всё потому, что важнейшей онтологической доминантой в процессах управления общества и социотехнических систем является *потребность в приращении* [11]. Эта потребность адекватно реализуется лишь в человеко-машинной системе, где человек, включённый в неё, соотносит свои потребности с возможностями общества. Но для этого нужен человек разумный, способный на консенсус во благо общества, так как он сам часть его самого и целиком зависящий от него [12, 13].

ИИ пока развивается по тому же принципу, что и другие революционные технологии, когда положительные результаты внедрения перевешивают отрицательные последствия [14], хотя уже сегодня влияние ИИ сопоставимо с тем, когда человек, как один из видов млекопитающих, стал доминировать, укротив огонь.

1 Используемые понятия

1.1 Интеллект

ЕИ, рассматриваемый как прототип ИИ, часто отождествляется с некой идеализированной разумной сущностью, способной объяснить свои поступки, действия и намерения, не скрывая и не обманывая. Что не соответствует реальной картине человеческой сущности, которая состоит из эмоций, настроений, естественного забывания, обмана, хитрости и других «слабостей». Моделируя ИИ, эти «слабости» ЕИ стремятся не учитывать. Учесть следует и различия или неравенства, отмеченные выше К.Э. Циолковским в [3].

Из многочисленных книг по ИИ, выпущенных в нашей стране и за рубежом [14-18], в которых обсуждаются понятия ЕИ и ИИ, хотелось бы отметить работу «технологического евангелиста» Романа Душкина, директора по науке и технологиям Агентства искусственного интеллекта [19]. Чтобы оценить работу Р.В. Душкина, можно воспользоваться советом Бертрана Рассела, который он дал в предисловии к своей книге: «Пророк сказал, что если два текста Корана оказываются несовместимыми, последний должен рассматриваться как наиболее авторитетный. Я хотел бы, чтобы читатель применил подобный принцип и в истолковании того, что сказано в этой книге» [20]. Конечно, Рассел имел ввиду многочисленные редакции своей книги, переиздаваемой на протяжении 25 лет с 1923 по 1948 год. Но в данном случае можно позволить применить этот совет к книге молодого, успешного практикующего учёного, который взял на себя труд «пропустить через себя» полученные им знания предшественников.

Р.В. Душкин предложил оригинальную классификацию подходов к разработке ИИ, задач, решаемых методами ИИ, и её представление в виде матрицы. Если расположить в матрице подходы и парадигмы в строках, а решаемые задачи в столбцах, то получится своеобразная «периодическая система технологий ИИ» (см. рисунок 1), в ячейках которой будут перечислены различные методы конкретного подхода для решения конкретной задачи.

Выделенную на рисунке 1 нижнюю строку можно принять за стремление автора отождествлять ИИ искусственной нейронной сети (НС), что не решает проблему объяснений результатов работы сети.

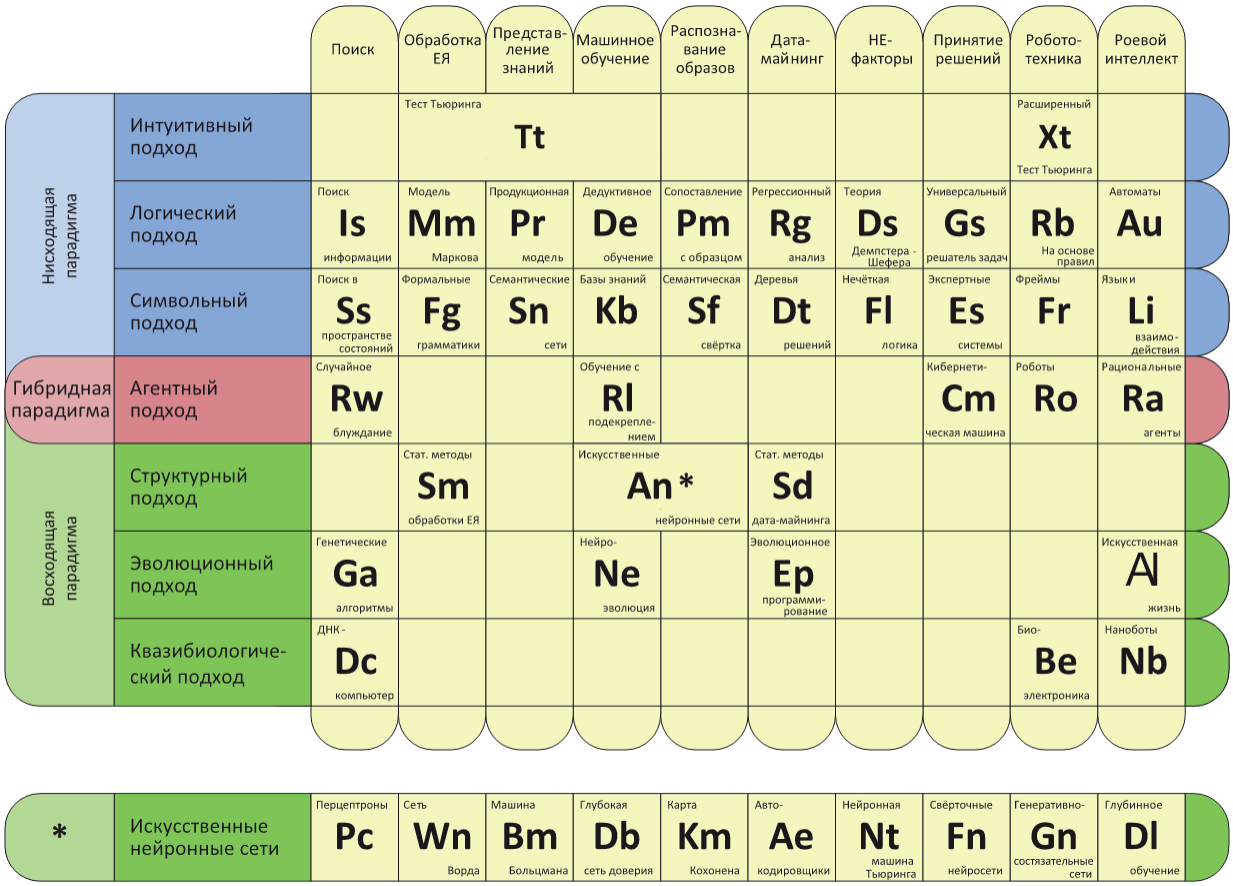


Рисунок 1 - Периодическая система технологий ИИ [19]

С другой стороны, автор справедливо отмечает, что символьный подход в ИИ сегодня незаслуженно отставлен в сторону. Скорее всего, это произошло из-за раннего разочарования в нём по причине того, что естественный язык как наиболее развитая символьная система, используемая человеком, является очень сложной и плохо формализуемой. Неопределённость высказываний, нечёткость формулировок, разного рода неточности измерений параметров – всё это вносит вклад в повышение сложности принятия решений на основе работы с символьной информацией. И если человек как-то справляется с этим в условиях неопределённости, неполноты и даже противоречивости входной информации, то обучить этому искусственную интеллектуальную систему достаточно сложно. Впрочем, это возможно [19].

ИИ – это междисциплинарная область исследований и набор технологий, позволяющий создавать технические системы, решающие задачи, ранее доступные только человеку.

Искусственная интеллектуальная система, или ИИ-система – это техническая система, которая при помощи методов и технологий ИИ решает задачу или набор задач, ранее доступных только человеку. При этом ИИ-системы обладают двумя важными качествами:

- *автономность* – это свойство системы, позволяющее ей действовать и принимать решения полностью самостоятельно;
- *адаптивность* – это свойство системы, которое позволяет ей действовать в условиях изменчивости внешних воздействий, обрабатывая такие входные данные, которые не предусмотрены её изначальным проектом.

Пожалуй, самые лаконичные определения этих же понятий даны в ISO / IEC 3WD 22989 «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта».

ИИ - это способность системы приобретать, обрабатывать и применять знания (знания - это факты, информация и навыки, приобретенные в результате опыта или обучения).

Система ИИ - это техническая система, которая использует ИИ для решения проблем.

1.2 Стратегии интеллекта индивидуума

В общем случае стратегия – это недетализированный план какой-либо деятельности, охватывающий (и это принципиально) длительный период времени, способ достижения цели, являющейся главной на данный момент и в дальнейшем корректируемой под изменившиеся условия. В исследовании операций стратегия – это способ использования средств и ресурсов, направленный на достижение цели операции. Стратегия определяется значениями управляемых переменных, для выбора которых важно знать значения неуправляемых переменных. Задача исследования операций состоит именно в выборе оптимальной стратегий из числа альтернативных на основе того или иного критерия [21]. Часто стратегию рассматривают как декларацию о намерениях, которую можно встретить в форме разного рода конституций, миссий и пр. нормативных документов, или жизненных кредо, клятв, кодексов.

Логично начать рассмотрение понятия стратегии применительно к индивидууму, как части целого, каковым является социум, приняв допущение, что эта часть целого формирует его стратегию. Во многом современные парадигмы общественного устройства передовых стран исходят из того, что именно нужды и потребности, права и свободы членов общества являются основой и приоритетом его развития. Значение древнегреческого понятия стратегия означает «искусство полководца», и полководцем здесь выступает, казалось бы, сам человек. Но всё протекает во времени, и человек становится способным к формированию своей стратегии, лишь пройдя долгий путь образования (обучения, воспитания). На этом этапе его взросления стратегию его развития формирует среда, социум, в котором он заполняет свою НС знаниями, навыками, умениями, формирует понятия, в опыте вырабатывает принципы бытия, впитывает культуру среды. На основе освоенного языка (языков) он способен коммуницировать с другими индивидуумами и тем самым становиться членом сообщества, принимать его правила, жить в нём, вырабатывать свою стратегию, свою линию жизни.

1.2 Стратегии социального интеллекта

> «Причина в том, что такова была наша изначальная природа, и мы составляли нечто целое. А страстное желание целостности и стремление к нему – это и есть то, что называют любовью».
>
> Платон (Диалог «Пир»)

Необходимость организации структуры для выработки согласованной стратегия социального интеллекта была обусловлена созданием человечеством оружия, способного уничтожить всю цивилизацию на Земле. Пока элита не осознала пагубность содеянного, побуждающей причины не было.

Созданная после Второй мировой войны Организация Объединённых Наций (ООН) приняла Всеобщую декларацию прав человека[7] на Генеральной Ассамблее ООН как основополагающий документ, определяющий принципы развития цивилизации, которым обязаны следовать народы и страны. Этот обязывающий документ - не план действий со сроками, ресурсами и ответственными, он - вектор устремлений наций, озабоченных своим сосуществованием. Декларация лежит в основе всех последующих действий, по ней подписанты оценивают поступки друг друга, поддерживают или осуждают их, именно с опорой на неё прини-

[7] Всеобщая декларация прав человека - https://www.un.org/ru/universal-declaration-human-rights/index.html.

маются последующие декларации, конкретизирующие согласованные действия. Например, Резолюция 74/4, принятая Генеральной Ассамблеей 15 октября 2019 года об устойчивом развитии[8].

В этом документе ООН говорится: «Сегодня мы даём старт масштабному и ускоренному движению за реализацию нашего общего видения к 2030 году и обещаем сделать предстоящее десятилетие десятилетием действий и свершений... Мы будем предпринимать более осязаемые шаги к тому, чтобы поддержать людей, находящихся в уязвимой ситуации, и наиболее уязвимые страны и охватить в первую очередь самых отстающих… Мы сохраняем решимость в течение периода до 2030 года покончить с нищетой и голодом во всем мире; бороться с неравенством внутри стран и между ними; строить миролюбивое, справедливое и свободное от социальных барьеров общество; уважать, защищать и реализовывать права человека и добиваться гендерного равенства; обеспечить надёжное сохранение нашей планеты и её природных ресурсов…».

Среди обязательств, которые приняли на себя участники Ассамблеи, стоит выделить близкий научному сообществу пункт h) «*задействовать науку, технику и инновации, уделяя больше внимания цифровым преобразованиям в интересах устойчивого развития***:** мы будем поощрять исследования, инициативы по наращиванию потенциала, инновации и технологии, помогающие достичь целей в области устойчивого развития, и содействовать использованию научных данных из всех областей для того, чтобы сделать возможным переключение на устойчивое развитие».

Особый восторг вызывает 15-ый пункт Декларации: «Повестка дня на период до 2030 года — это *наш обет сегодняшним детям и молодежи*, позволяющий им полностью раскрыть свой человеческий потенциал и донести факел устойчивого развития до будущих поколений».

В отличие от упомянутого в предисловии к этой статье Римского Клуба, более широко известен Всемирный экономический форум, который предлагает Платформы для объединения усилий по решению мировых проблем.

Всемирный экономический форум в Давосе - это главная творческая сила для привлечения ведущих мировых лидеров к совместной деятельности для формирования глобальных, региональных и отраслевых программ. Ближайшая встреча состоится 21-24 января 2020 г. в Давос-Клостерс, Швейцария, и его тема созвучна Резолюции Генассамблеи ООН «Устойчивость развития»[9]. Подобные вопросы обсуждались и на Ежегодной встрече Советов Глобального Будущего, прошедшей 3-4 ноября 2019 г. в Дубае[10]. Темы четвёртой промышленной революции, ИИ и робототехники - в центре внимания этой встречи [22]. Как глобальная проблема на форуме рассматриваются роботы и ИИ (см. рисунок 2) [23].

Социальный интеллект первоначально формирует свою «повестку дня», свою стратегию на уровне государств. Хотя начинается его формирование, конечно, с семьи. Продолжается в школе, в той среде, в которой происходит коммуникация, совместно вырабатываются решения, понятия, где основными акторами являются дееспособные граждане.

Поставленный в книге о всемирном сетевом разуме [15] вопрос в названии раздела «Интернет + человечество = интеллект?» спустя восемь лет после её выхода представляется риторическим.

[8] Декларация политического форума высокого уровня по устойчивому развитию - https://undocs.org/ru/A/RES/74/4.

[9] Sustainability at the Annual Meeting 2020 - http://www3.weforum.org/docs/WEF_Sustainabiliy_at_the_Annual_Meeting_2020.pdf.

[10] Annual Meeting of the Global Future Councils - https://www.weforum.org/events/annual-meeting-of-the-global-future-councils-2019.

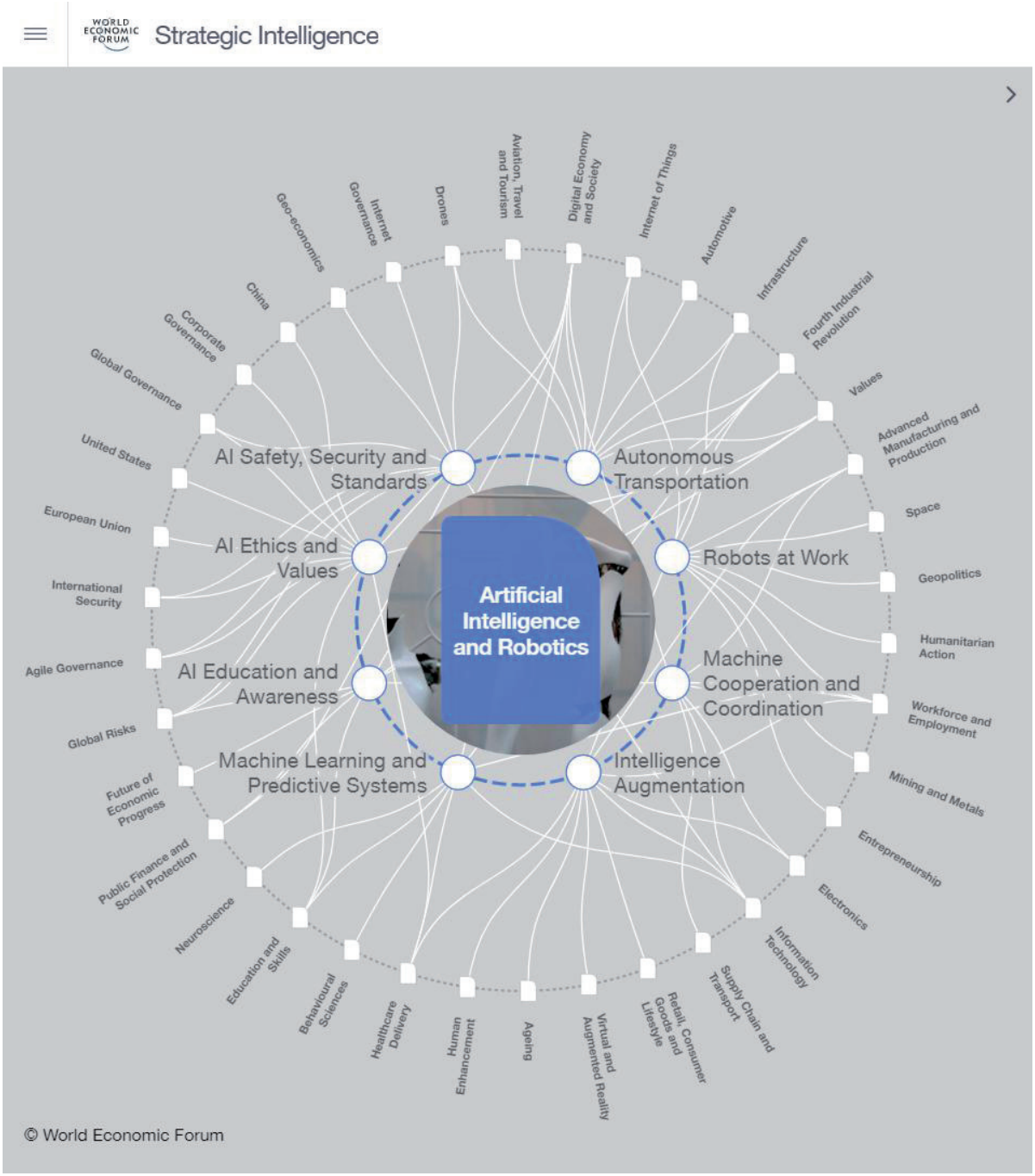


Рисунок 2 – Онтология Artificial Intelligence and Robotics по версии World Economic Forum

1.4 Онтологии

С учётом затронутой тематики, связанной со стратегией ИИ, стоит привести краткое описание этого важного понятия из обновлённого «Стратегического плана научных исследований и развития национального ИИ на 2019 год» [24], подготовленного Комитетом по ИИ Национального совета науки и технологий США в июне 2019 года.

В частности, со ссылкой на стандарт IEEE Std 1872™-2015 (IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation) в стратегическом плане отмечается:

«*Онтология* играет фундаментальную роль, она формально определяет ключевые понятия, свойства, отношения и аксиомы данной области. В отличие от таксономий, которые

предоставляют только набор словарного запаса и единый тип отношений между терминами, онтология предоставляет более богатый набор отношений, ограничений и правил. В общем, онтологии делают соответствующие знания о ПрО явными в компьютерно-интерпретируемом формате, что позволяет программному обеспечению (ПО) рассуждать об этих знаниях для вывода новой информации.

Кроме того, онтологии являются отличным инструментом для уменьшения двусмысленности в передаче знаний между группами людей, роботами и другими искусственными системами, которые разделяют ту же концептуализацию».

Удивительным образом сходятся взгляды онтолога-философа [25] и онтолога-практика [26] при построении онтологий саморазвивающихся интеллектуальных сред и онтологий предприятий на основе экспириентологического подхода. Только в содружестве философов, психологов, лингвистов, компьютерщиков, датасайентистов и предметников можно преуспеть в создании ИИ [25-29]. И общим для них будет язык [29].

1.5 Онтологии и объяснимый ИИ [30]

Значительное увеличение использования методов машинного обучения (МО) обусловлено наличием огромного количества уже накопленных данных, на основе обработки которых методы МО строят сложные статистические модели. К сожалению, разработчики этих моделей затрудняются объяснить, как на их основе приходят к тем или иным выводам, поскольку каждое решение является результатом работы программы, которая включает весь набор данных, используемых для разработки модели. Поэтому встал вопрос объяснения (*Explanations* – пояснение, разъяснение, толкование), а также какие критерии могут использоваться для оценки точности объяснения.

Саммит онтологов, прошедший летом 2019 года, обсуждал, как онтология может принести пользу проблеме автоматизации объяснений сложных систем. Ведь объяснение - это ответ на вопрос «Почему?». Объяснения обычно происходят в контексте процесса, который может быть диалогом между человеком и системой или процессом связи между агентами двух систем. Объяснения также происходят в социальных взаимодействиях, когда излагают точку зрения или интерпретируют поведение.

Тема онтологического саммита, вдохновлённая проектом Агентства перспективных исследовательских программ в области обороны США (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency) DARPA Explainable AI (XAI – объяснимый или интерпретируемый ИИ), рассматривалась как общая проблема объяснения (см. рисунок 3).

На саммите рассматривались не только системы ИИ, которые могут объяснить их действия, но также и интеллектуальные инженерные системы, которые могут взаимодействовать друг с другом. С ростом количества ПО, предназначенного для промышленной автоматизации и управления процессами, эта возможность становится важной. Объяснения включают в себя объяснение причин, описание сильных и слабых сторон и проецирование поведения систем в будущем. Подобные цели разработки научных основ создания систем поддержки коммуникативных действий, способных убеждать и обосновывать предлагаемые решения, содержатся в работе [31].

Онтологии могут играть важную роль в объяснениях, поскольку интеллектуальные инженерные системы должны представлять концептуальную основу, которая поддерживает объяснения. Версия естественного языка может использоваться для описания состояний и действий в терминах, которые люди легко понимают, а также в концептуальных структурах, в которых происходит диалог.

Преимущество использования онтологий в объяснениях заключается в возможности улучшения взаимодействия между системами. Текущие усилия по объяснению разрознены,

что приведёт к разнообразию несовместимых методов объяснения, которые индивидуально могут удовлетворить требованию предоставления объяснений, но при интеграции в крупномасштабные системы будут мало полезными (см. рисунок 4).

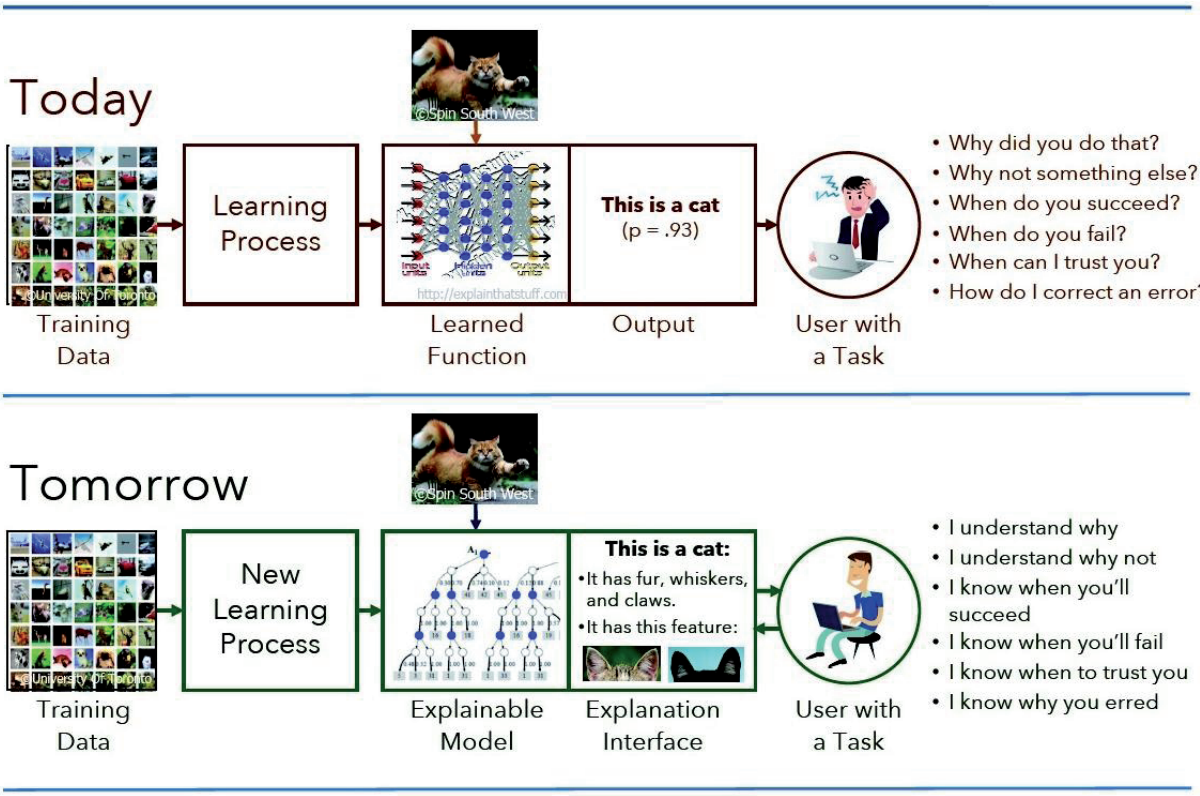


Рисунок 3 - Программа DARPA XAI [32]

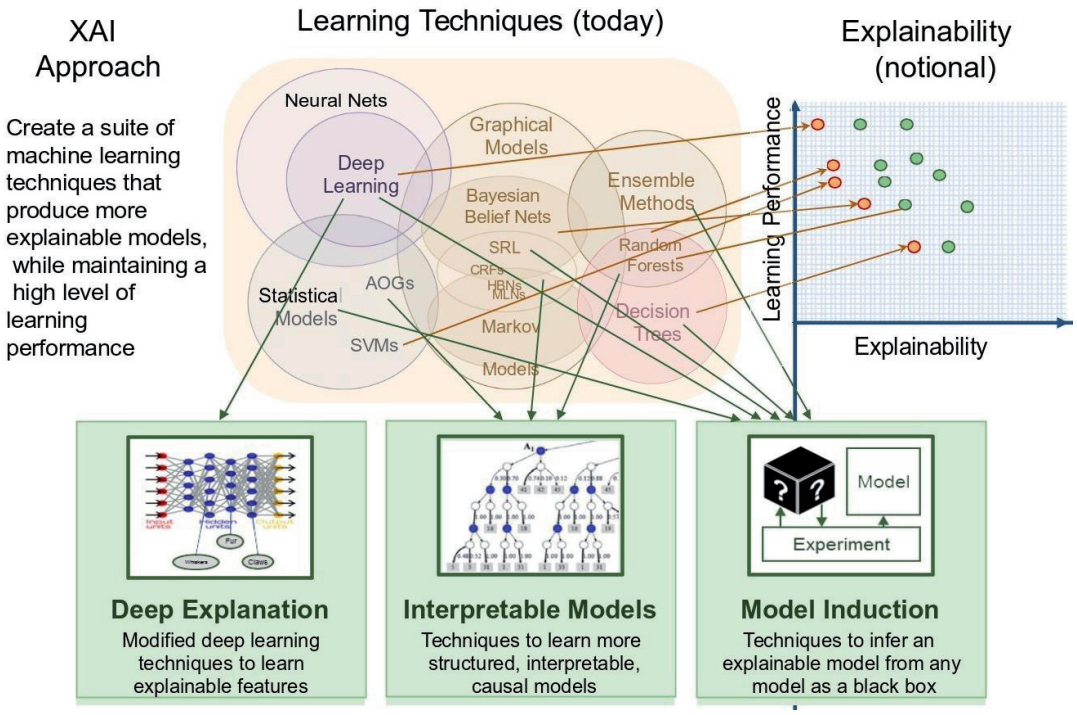


Рисунок 4 - Производительность против объяснимости [32]

Онтологии - это спроектированные артефакты знаний, существующие в вычислительной среде, которая позволяет рассуждать, и поэтому должна включать способность объяснять то, что они «знают» и как «обосновать эти знания». Они должны быть в состоянии выразить обоснование выбранного использования соответствующих частей онтологии или набора онтологий; объяснить сильные и слабые стороны выбранной онтологии; и объяснить данные в этой онтологии.

1.6 Инобытие или онтология проектирования как дыхание будущего [27]

Цель гуманистического проектирования – построить общество для человека (человекоразмерное общество), а не подогнать образ человека под общество. Феноменология помогает увидеть будущее человека и создать ему новые образы своего бытия.

Цель онтологического проектирования – создание возможных миров (сфер бытия) человека, соответствующих его смысложизненным интересам. Здесь проектирование и самопроектирование совпадают по существу: объектом становится собственное бытие человека.

Центральное понятие проектного анализа человеческого бытия – «иное» («инобытие»), имеющее в философской традиции ряд значений. Иное указывает на непроявленную тенденцию бытия, то, чему предстоит свершиться и воплотиться в новом сущем. Оно ещё не явило себя человеку в полной мере или в чётком обличье, но уже напоминает о приближении чего-то по едва уловимым признакам, которые воспринимаются как предвкушение перемен. В нём слышится не только «зов бытия», о котором писал М.Хайдеггер, но и дыхание будущего.

2 Обзоры стратегий развития ИИ

Можно сказать, что гонка за мировое лидерство в области ИИ началась с 2018 года. За последние два года свои национальные стратегии в области ИИ и продвижения технологий ИИ разработали около 30 стран. При этом нет и двух одинаковых стратегий - каждая фокусируется на различных аспектах деятельности в области ИИ: научные исследования, развитие талантов, навыки и образование, взаимодействие государственного и частного секторов, этика и совместное существование, стандарты и положения, а также данные и цифровая инфраструктура.

Недостатка в обзорах стратегий развития ИИ нет, как зарубежных авторов [33], так и отечественных организаций, в частности, Центра подготовки руководителей цифровой трансформации ВШГУ РАНХиГС [34] и Агентства искусственного интеллекта [35].

3 Стратегия развития ИИ в России

3.1 Понятия, цели и задачи Стратегии

Текст Стратегии начинается, что очень ценно и важно, с определений используемых основных понятий [4]:

- *ИИ* - комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека;
- *технологии ИИ* - технологии, основанные на использовании ИИ, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы ИИ;
- *перспективные методы ИИ* - методы, направленные на создание принципиально новой научно-технической продукции, в том числе в целях разработки универсального (силь-

ного) ИИ (автономное решение различных задач, автоматический дизайн физических объектов, автоматическое МО), алгоритмы решения задач на основе данных с частичной разметкой и (или) незначительных объёмов данных, обработка информации на основе новых типов вычислительных систем, интерпретируемая обработка данных и др.);

- а также таких понятий как *набор* и *разметка данных*, *аппаратное обеспечение*, *вычислительная система* и её *архитектура*, *общедоступная платформа* и *открытая библиотека ИИ*, *технологическое решение*.

Декларируемые цели развития ИИ в Российской Федерации заслуживают самого высокого одобрения. К ним относятся: ***обеспечение роста благосостояния и качества жизни населения***, *обеспечение национальной безопасности и правопорядка, достижение устойчивой конкурентоспособности российской экономики*, в том числе лидирующих позиций в мире в области ИИ.

Основными задачами развития ИИ являются:

- поддержка научных исследований в целях обеспечения опережающего развития ИИ;
- разработка и развитие ПО, в котором используются технологии ИИ;
- повышение доступности и качества данных, необходимых для развития технологий ИИ;
- повышение доступности аппаратного обеспечения, необходимого для решения задач в области ИИ;
- повышение уровня обеспечения российского рынка технологий ИИ квалифицированными кадрами и уровня информированности населения о возможных сферах использования таких технологий;
- создание комплексной системы регулирования общественных отношений, возникающих в связи с развитием и использованием технологий ИИ.

3.2 Принципы развития и использования ИИ

В стратегии констатируется, что *на смену* экспертным системам пришло МО, благодаря которому информационные системы самостоятельно формируют правила и находят решение на основе анализа зависимостей, используя исходные наборы данных (без предварительного составления человеком перечня возможных решений), что позволяет говорить о появлении ИИ. При этом отмечается, что результаты работы алгоритмов НС могут быть подвергнуты сомнению и отменены человеком, т.к. *отсутствует понимание* того, как ИИ достигает результатов, что может стать препятствием для их развития.

Здесь трудно согласиться, что одни технологии пришли на «смену» другим. Далеко не все области «покрывает», да и может «покрыть» МО. Ставить знак равенства ИИ = МО, а тем более ИИ = НС, в корне неверно.

Основными принципами развития и использования технологий ИИ в стратегии являются: защита прав и свобод человека; безопасность; прозрачность: объяснимость работы ИИ и процесса достижения им результатов; технологический суверенитет; целостность инновационного цикла; разумная бережливость; поддержка конкуренции.

Использование технологий ИИ, согласно стратегии, способствует созданию принципиально новых направлений деятельности хозяйствующих субъектов, в том числе за счёт:

- повышения эффективности процессов планирования, прогнозирования и принятия управленческих решений;
- автоматизации рутинных производственных операций;
- использования автономного интеллектуального оборудования и робототехнических комплексов, интеллектуальных систем управления логистикой;
- повышения безопасности сотрудников при выполнении бизнес-процессов;
- повышения лояльности и удовлетворенности потребителей;

- оптимизации процессов подбора и обучения кадров, составления оптимального графика работы сотрудников с учётом различных факторов.

Использование технологий ИИ в социальной сфере способствует созданию условий для улучшения уровня жизни населения, в том числе за счёт:

- повышения качества услуг в сферах здравоохранения и образования (включая адаптацию образовательного процесса к потребностям обучающихся и потребностям рынка труда, системный анализ показателей эффективности обучения для оптимизации профессиональной ориентации и раннего выявления детей с выдающимися способностями, автоматизацию оценки качества знаний и анализа информации о результатах обучения);
- повышения качества предоставления государственных и муниципальных услуг, а также снижения затрат на их предоставление.

Разработка этических правил взаимодействия человека с ИИ включена в основные направления создания комплексной системы регулирования общественных отношений.

3.3 Показатели в Стратегии

Основными показателями, характеризующими рост предложения продуктов (услуг), созданных (оказываемых) с использованием ИИ, *являются увеличение количества*:

- организаций, разрабатывающих технологические решения на основе ИИ и занимающих лидирующие позиции в мире;
- результатов интеллектуальной деятельности в области ИИ, которые прошли государственную регистрацию либо учтены иным способом в соответствии с общепринятой мировой практикой и внедрены.

А теперь вернёмся к целям стратегии и увидим, что показатели, по которым должны оцениваться вложенные рубли, никак не связаны с целями стратегии. Это *серьёзная критериальная проблема*, которая должна быть решена ещё до выделения средств на реализацию Стратегии.

В Стратегии в целях создания и развития российских технологий ИИ отмечается необходимость обеспечения приоритетной поддержки фундаментальных и прикладных научных исследований. Причём фундаментальные научные исследования должны быть направлены на создание принципиально новых научных результатов, в том числе на создание универсального (сильного) ИИ, и решение иных задач, предусмотренных стратегией.

К 2024 году основным показателем, характеризующим успешную реализацию мер по поддержке научных исследований в области ИИ, должен стать *существенный рост количества*:

- цитируемости в ведущих мировых научных изданиях научных статей российских ученых на тему, посвященную ИИ;
- зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в области ИИ;
- разработанных на основе результатов интеллектуальной деятельности в области ИИ прикладных технологических решений, используемых в практической деятельности.

Здесь очевидно отсутствие обоснования и объяснения проведённой декомпозиции целей на рекомендуемые показатели. Заявленные в Стратегии цели развития ИИ в Российской Федерации: обеспечение роста благосостояния и качества жизни её населения, обеспечение национальной безопасности и правопорядка, достижение устойчивой конкурентоспособности российской экономики, будут оцениваться по количеству статей, участию в конференциях и уровню цитируемости.

Действительно, качество жизни и безопасность - трудноизмеряемые критерии, как и вклад в фундаментальную науку. Но ведь это как раз и тема для ИИ – разработка показателей, способных оценить вклад науки в безопасность и качество жизни. Стоит ли повторять

ошибки бюрократов, использующих библиометрию и наукометрию в оценках учёных и научных подразделений [36]?

3.4 Онтологии в Стратегии

В основные направления разработки и развития ПО, в котором используются технологии ИИ, вошла разработка *единых стандартов* в области безопасности и совместимости ПО. Это, пожалуй, один из немногих пунктов стратегии, где можно увидеть возможности для разработки онтологии предметной области (ПрО).

Наиболее явно потребность в онтологиях и онтологическом анализе ПрО проявляется в основных направлениях повышения доступности и качества данных, необходимых для развития технологий ИИ. В частности, разработка унифицированных и обновляемых *методологий описания, сбора и разметки данных*, а также механизма контроля за соблюдением указанных методологий, немыслима без онтологии ПрО.

Важно, что в основные направления повышения уровня обеспечения российского рынка технологий ИИ квалифицированными кадрами включена разработка и внедрение образовательных модулей в рамках образовательных программ всех уровней образования, программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки для получения гражданами знаний, приобретения ими компетенций и навыков в области математики, программирования, анализа данных, МО, способствующих развитию ИИ. Здесь явно не хватает направлений, связанных с онтологиями[11].

3.5 Реализация Стратегии

Правительство Российской Федерации при участии созданного объединения по развитию ИИ в России, осуществляет разработку и утверждение плана мероприятий по реализации Стратегии, предусматривающего в том числе: перечень показателей эффективности реализации Стратегии и методологию их расчёта; целевые значения показателей эффективности реализации Стратегии на 2024 и 2030 годы. Думается, что над решением отмеченных критериальных проблем серьёзно поработают специалисты (онтологи, проектанты, философы, экономисты).

4 Стратегия лидера развития ИИ

> «Продолжение американского лидерства в области искусственного интеллекта имеет первостепенное значение для поддержания экономической и национальной безопасности Соединенных Штатов».
>
> Дональд Дж. Трамп

В разделе выделены места в стратегии развития ИИ в США, которые, по мнению автора статьи, были бы важны для учёта их в российской Стратегии, в российских планах и программах по развитию ИИ.

Стоит обратить внимание интересующихся стратегией лидера на правительственный портал «Искусственный интеллект для американского народа» [37]. В нём пять основных разделов: документы об ИИ, ИИ для американских инноваций, ИИ для американской промышленности, ИИ для американского рабочего, ИИ с американскими ценностями. Этот вебсайт предназначен для более глубокого изучения этих видов деятельности и может служить

[11] Например, в Институте авиационной техники Самарского университета при подготовке магистров и бакалавров, направление подготовки которых связано с информационными технологиями, читаются курсы по *онтологии проектирования*, *онтологии производственной сферы*.

ресурсом для тех, кто хочет узнать больше о том, как в полной мере использовать возможности ИИ. На сайте констатируется, что век ИИ уже наступил, и что это не «хайп», а реальная жизнь, и что ИИ трансформирует всё - от здравоохранения до транспорта и производства. Реализация полного потенциала ИИ базируется на объединённых усилиях промышленности, научных кругов и правительства.

4.1 Акценты в области ИИ

Понятный и заслуживающий доверия ИИ. По мере того, как создаются новые технологии ИИ, необходимо расширить понимание того, как системы ИИ получают решения и почему они принимают такие решения. Важным акцентом на НИОКР является предоставление ИИ механизмов объяснения, которые помогают пользователям понять причины выводов ИИ. Уже упоминавшаяся Программа DARPA Explainable AI направлена на создание методов МО, которые дают более объяснимые решения, сохраняя при этом высокую производительность и соответствующий уровень доверия к системе.

Надёжный и безопасный ИИ. Сложность многих систем ИИ создаёт серьёзные проблемы безопасности и защиты, которые необходимо решать, чтобы обеспечить надёжность этих систем. В частности, системы ИИ имеют присущие риски кибербезопасности из-за особенностей применяемых технологии. Инвестиции в НИОКР создадут решения для противодействия враждебным атакам на технологии ИИ, например тем, которые пытаются «загрязнить» обучающие данные, модифицировать алгоритмы, создавать враждебные материалы или использовать недостатки в постановке и реализации цели системы ИИ.

Воздействие на рабочую силу. Быстрый прогресс в развитии технологий ИИ имеет много потенциальных преимуществ, включая создание новых отраслей и профессий, расширение возможностей для инноваций и повышение производительности. Однако эти технологии меняют характер работы и вызывают некоторую обеспокоенность по поводу возможности потерянных рабочих мест или несоответствия между имеющимися профессиями и навыками рабочей силы. Стратегия в отношении ИИ и американского рабочего обеспечивает возможности для обучения и профессиональной подготовки, которые помогают рабочей силе процветать в новой экономике.

4.2 Восемь стратегий ИИ

В обновлённом 50-ти страничном авторизованном (более 40 авторов-разработчиков) документе приведены более 130 ссылок на используемые источники [24]. В этом стратегическом плане определены восемь стратегических приоритетов. Первые семь стратегий продолжаются с Плана 2016 года, отражая подтверждение важности этих стратегий многочисленными респондентами из общественности и правительства, без призывов удалить какую-либо из этих стратегий. Восьмая стратегия является новой и ориентирована на растущую важность эффективных партнёрских отношений между федеральным правительством и научными кругами, промышленностью, другими нефедеральными структурами и международными партнёрами для создания технологических прорывов в области ИИ и быстрого превращения этих прорывов в возможности. Кратко планы этих восьми стратегий.

1 *Сделать долгосрочные инвестиции в исследования ИИ.* Приоритетное направление инвестиций в следующее поколение ИИ, которое будет способствовать открытию и пониманию и позволит США оставаться мировым лидером в области ИИ.

2 *Разработать эффективные методы взаимодействия человека и ИИ*. Повысить понимание того, как создавать системы ИИ, которые эффективно дополняют и расширяют возможности человека.

3 *Понимать и решать этические, правовые и социальные последствия ИИ*. Исследовать системы ИИ, которые включают этические, правовые и социальные проблемы с помощью технических механизмов.

4 *Обеспечить надёжность и безопасность систем ИИ*.

5 *Разработка общедоступных наборов данных и сред для обучения и тестирования ИИ*.

6 *Измерение и оценка технологий ИИ с помощью стандартов и эталонов*. Разработка широкого спектра методов оценки ИИ, включая технические стандарты и эталоны.

7 *Лучшее понимание потребностей в рабочей силе НИОКР в стране*. Расширение возможностей для развития рабочей силы в сфере НИОКР для стратегического стимулирования рабочей силы, готовой к ИИ.

8 *Расширение государственно-частного партнерства для ускорения прогресса в области ИИ*. Содействовать созданию возможностей для устойчивых инвестиций в НИОКР ИИ и для превращения достижений в практические возможности в сотрудничестве с научными кругами, промышленностью, международными партнерами и другими нефедеральными организациями.

На рисунке 5 показана организация Стратегического плана исследований и разработок ИИ в США [24]. Комбинация сквозных фундаментальных НИОКР (в нижнем ряду) важна для всех исследований ИИ. Многие области исследований и разработок ИИ (в среднем ряду) могут опираться на эти сквозные основы для воздействия на широкий спектр приложений (в верхнем ряду). Цифры в скобках указывают номер Стратегии в плане, которая развивает каждую тему. Упорядочение этих Стратегий не указывает на их приоритетность.

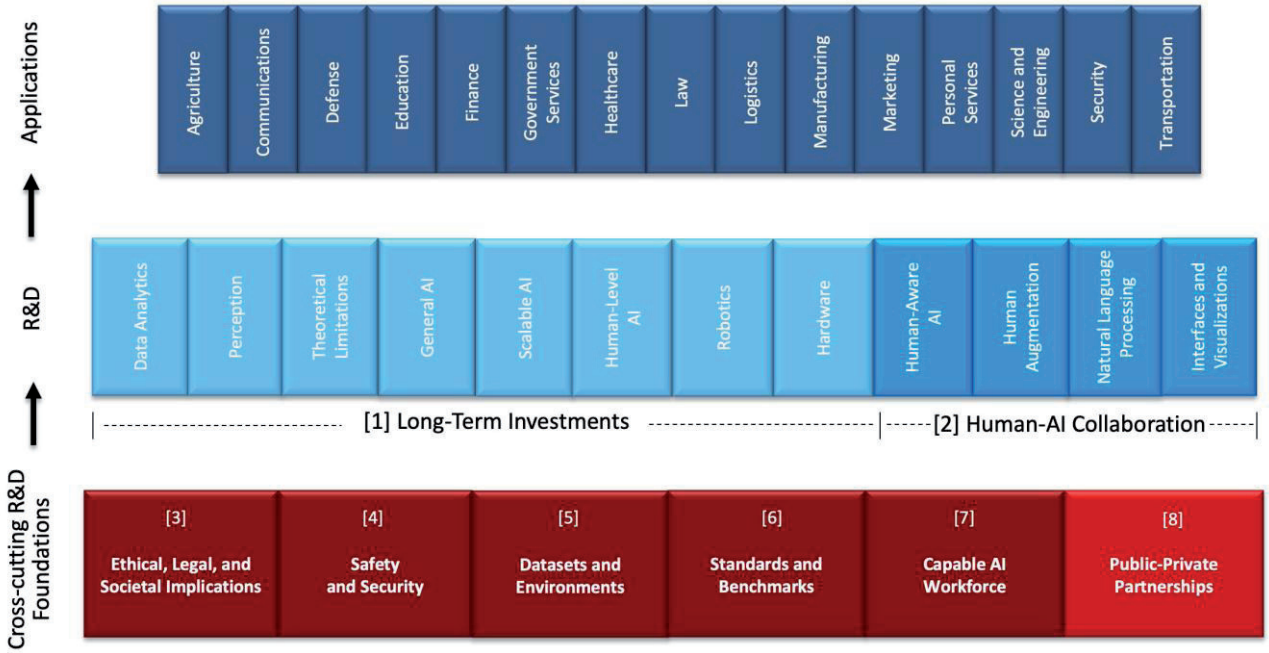


Рисунок 5 - Организация Стратегического плана исследований и разработок ИИ [24]

4.3 Онтологии в стратегий ИИ США

Многие приложения ИИ носят междисциплинарный характер и используют разнородные данные. Дальнейшее исследование многокомпонентного МО необходимо для обеспечения возможности обнаружения знаний из широкого спектра различных типов данных (например, дискретных, непрерывных, текстовых, пространственных, временных, пространственно-временных графиков). Исследователи ИИ должны определить объём данных, необходимых

для обучения, и надлежащим образом удовлетворить потребности в данных в больших масштабах. Они также должны определить, как идентифицировать и обрабатывать редкие события помимо чисто статистических подходов; работать с источниками знаний (т.е. с любым типом информации, которая объясняет мир), а также с источниками данных, интегрируя модели и *онтологии* в процесс обучения; получить эффективность обучения с небольшим объёмом данных, когда б*о*льшие источники данных могут быть недоступны.

Чтобы поддержать постоянный высокий уровень инноваций в этой области, правительство США активизирует усилия по разработке, поддержке и использованию технологий открытого ИИ. Особенно полезны открытые ресурсы, которые используют стандартизированные или открытые форматы и открытые стандарты для представления семантической информации, включая доменные *онтологии*, когда они доступны.

Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) участвует в мероприятиях по стандартизации ИИ через организации по стандартизации, такие как Американское общество инженеров-механиков, Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и ISO / IEC. Их деятельность охватывает компьютерное моделирование для продвинутого производства, *онтологии* для робототехники и автоматизации, конфиденциальность личных данных и др.

4.4 Стандарты для укрепления лидерства в ИИ

Стандарты предоставляют требования, спецификации, руководящие указания или характеристики, которые можно использовать для обеспечения того, чтобы технологии ИИ удовлетворяли критическим целям функциональности, функциональной совместимости и чтобы они работали надёжно и безопасно. Принятие стандартов повышает доверие к технологическим достижениям и способствует расширению интероперабельного рынка.

Одним из примеров стандарта, относящегося к ИИ, является P1872-2015 (*Стандартные онтологии для робототехники и автоматизации*), разработанный IEEE. Этот стандарт обеспечивает систематический способ представления знаний и общий набор терминов и определений. Они позволяют однозначно передавать знания людям, роботам и другим искусственным системам, а также обеспечивают фундаментальную основу для применения технологий ИИ в робототехнике.

В Федеральном плане [38] в числе задач отмечается стремление «обеспечить, чтобы технические стандарты ... отражали федеральные приоритеты в области инноваций, общественного доверия и общественной уверенности в системах, использующих технологии ИИ ... и разрабатывать международные стандарты для продвижения и защиты этих приоритетов».

Этот план определяет следующие девять областей, в которых необходимо сосредоточиться на стандартах ИИ: концепции и терминология; данные и знания; взаимодействие с человеком; метрики; сети; методология тестирования производительности и отчётности; безопасность; управление рисками; надёжность.

Отмечаются уже принятые стандарты, например, ISO/IEC DIS 21838-2 Information technology - Top-level ontologies (TLO) - Part 2: Basic Formal Ontology (BFO). Начиная с 2016 года, серия проектов стандартов IEEE P7000 ™ направлена на решение конкретных проблем на стыке технологических и этических аспектов ИИ. Например, P7007 - Ontological Standard for Ethically Driven Robotics and Automation Systems. Предусматривается развитие: межотраслевых спецификаций, относящихся к ИИ и включающих онтологию обслуживания робототехники (Robotics Service Ontology - RoSO); всемирной паутины (World Wide Web Consortium, W3C); языка веб-онтологий W3C (Web Ontology Language, OWL).

Заключение

Создание ИИ, разработка стратегий ИИ, систем ИИ без онтологии, без согласования понятий, без общих терминов, без языка, без объяснений и пониманий результатов «***машинной мясорубки данных***» заведомо обрекает разработчиков на отставание от лидеров в развитии этих систем.

В России в академических институтах, университетах и IT-компаниях есть научные школы, учёные, программисты, датасайентисты, которые ведут исследования и активно разрабатывают основы для построения онтологий в различных ПрО, используют созданные онтологии в информационных системах. Интеллектуальный ресурс онтологов включает учёных из разных городов России: Владивосток (Грибова В., Артемьева И. и др.) Новосибирск (Пальчунов Д., Загорулько Ю. и др.), Самара (Скобелев П., Смирнов С. и др.), Москва (Хорошевский В., Куприяновский В., Лукашевич Н. и др.), Санкт-Петербург (Гаврилова Т., Муромский Д. и др.) и др.

С 2009 года в Новосибирске в Академгородке проходит Международная конференция «Знания - Онтологии – Теории (ЗОНТ)», в этом году она состоялась в октябре. С 2011 года в Самаре выходит первый в России научный журнал по прикладным онтологиям «Онтология проектирования», который активно сотрудничает с РАИИ, журналом «Искусственный интеллект и принятие решений» (выходит с 2008 года).

Уже перед сдачей статьи в номер компании IDC и ABBYY распространили исследование «Рынок искусственного интеллекта в России»,[12] целью которого было оценить востребованность решений с использованием технологий ИИ в российских компаниях, а также обозначить общие направления развития рынка ИИ и когнитивных технологий. Ключевые выводы исследования: 30% крупных российских компаний уже используют технологии ИИ или ПО со встроенными технологиями ИИ. Остальные 70% компаний планируют внедрить когнитивные технологии и ИИ в ближайшие 1-2 года; а 60% компаний считают разработку стратегии применения ИИ приоритетным направлением инвестиций.

Есть спрос, и есть задел на предложения. Результат не замедлит себя ждать!

Послесловие: послание философам и разработчикам ИИ

Элита на волне технологических успехов перестала обращать внимание на философские вопросы. В стратегии развития цивилизации философы должны принимать активное участие, а не созерцать происходящее. Наряду с просвещением масс, основная задача философов в наше время - это подготовка элиты, их ответственности на основе понимания целостности и «хрупкости» современного мира. Надо уметь говорить с элитой на понятном ей языке, доступно излагать свои пусть разные, но осознанные модели бытия.

Сравнивая Стратегии развития ИИ в США и в России, можно предположить где принимали и принимают участие философы. Онтологии - прекрасный пример того, как философы находят свое место в реальном мире (например, Барри Смит, http://ontology.buffalo.edu/). Да и в Национальном центре онтологических исследований (National Center for Ontological Research, NCOR) - не последняя роль за философами.

В наше «бифуркационное» время философ обязан найти свое место и должен быть услышан. А для этого он должен излагать свои знания на разных площадках...

На прошедшем грандиозном мероприятии AI Journey [13] участникам продемонстрировали достижения компаний лидеров в применении ИИ в России, а также обсудили злободневные

[12] IDC, “Рынок ИИ в России”, ноябрь 2019. – 38 с.
[13] Конференция AI Journey в Москве, посвященная ИИ, 8-9.11.2019. - https://ai-journey.ru/conference-moscow.

вопросы создания ИИ, проблемы и последствия его вхождения в нашу жизнь. Философы принимали в дискуссии самое активное участие (см. 4-ую страницу обложки номера журнала), и это отрадно.

Благодарности

Статья подготовлена по материалам научных исследований в рамках субсидированного государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН на НИР по теме «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

Список источников

[1] ***Поспелов, Д.А.*** Облако / Д.А. Поспелов // Новости искусственного интеллекта №6, 2003. - С.41-46.
[2] ***Bill Joy.*** Why The Future Doesn't Need Us / Bill Joy Ideas. 04.01.00. - https://www.wired.com/2000/04/joy-2/.
[3] ***Циолковский, К.Э.*** Ложная мудрость / К.Э. Циолковский. (1933, машинопись с правкой автора, Архив РАН: Фонд №555, Опись 1, Дело №493) - https://tsiolkovsky.org/ru/kosmicheskaya-filosofiya/lozhnaya-mudrost/.
[4] Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации".
[5] ***Поспелов, Г.С.*** Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов // Сер. «Академические чтения» - М.: Наука, 1988. - 280 с.
[6] ***Глушков, В.М.*** Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. 1-е изд. 1982г. Изд-е 2-е, исправленное - М.: Наука, Гл.ред физ.-мат. лит., 1987. - 552 с.
[7] Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
[8] ***Егер, С.М.*** Основы автоматизации проектирования самолета / С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 426 с.
[9] ***Боргест, Н.М.*** Автоматизация предварительного проектирования самолета / Н.М. Боргест. – Самара: Самар.авиац.ин-т. 1992. – 92 с.
[10] ***Валькман, Ю.Р.*** Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели / Ю.Р. Валькман. – Киев: Port-Royl, 1998. – 250 с.
[11] ***Боргест, Н.М.*** Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.487-522. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
[12] ***Виттих, В.А***. Пролегомены к эвергетике/ В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5, №2(16). – С. 135-148. – DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
[13] ***Шалагин, С.В.*** Когнитивные проблемы проектирования на основе компьютерных моделей: технический и социо-гуманитарный аспекты / С.В. Шалагин, Г.Э. Шалагина // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). – С. 368-376. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-368-376
[14] ***Рассель, С.*** Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассель, П. Норвиг // 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. – 1408 с.
[15] ***Хорост, М.*** Всемирный разум. От мировой паутины к глобальному сознанию / М. Хорост. Пер. с англ. В. Дудникова. – М.: Эксмо, 2011. – 288 с.
[16] ***Финн, В.К.*** Искусственный интеллект: методология, применение, философия / В.К. Финн – М.: КРАСАНД. 2011. – 448 с.
[17] ***Осипов, Г.***С. Лекции по искусственному интеллекту / Г.С. Осипов. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 272 с.
[18] ***Рапопорт, Г.Н***. Искусственный и биологический интеллекты: общность структуры, эволюция и процессы познания / Г.Н. Рапопорт, А.Г. Герц // 2-е изд. – М.: КомКнига, 2010. - 312 с.
[19] ***Душкин, Р.В.*** Искусственный интеллект / Р.В. Душкин. - М.: ДМК Пресс, 2019. 380 с. - https://www.litres.ru/roman-dushkin/iskusstvennyy-intellekt/.
[20] ***Рассел, Б.*** Человеческое познание: его сфера и границы / Б. Рассел // Пер. с англ. – К.: Ника-Центр, 2001, - 560 с.
[21] Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. — М.: Дело. Л. И. Лопатников. 2003. - https://economic_mathematics.academic.ru/4388.

[22] Shaping the Future of Technology Governance: Artificial Intelligence and Machine Learning - https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-technology-governance-artificial-intelligence-and-machine-learning.
[23] Artificial Intelligence and Robotics - https://www.weforum.org/agenda/archive/artificial-intelligence-and-robotics.
[24] The National Artificial Intelligence Research And Development Strategic Plan: 2019 Update. June 2019. – 50 p. - https://www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019.pdf.
[25] ***Лепский, В.***Е. Субъектно-ориентированные принципы организации саморазвивающихся интеллектуальных сред / В.Е. Лепский // В кн.: Естественный и искусственный интеллект: методологические и социальные проблемы. Под ред. Д.И. Дубровского и В.Е. Лепского. – М.: Канон, 2011. – 352с. - С.253-280.
[26] ***Шведин, Б.Я.*** Онтология предприятия: экспириентологический подход. Технология построения онтологической модели предприятия / Б.Я. Шведин. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 240 с.
[27] ***Резник, Ю.М.*** Феноменология человека: бытие возможного / Ю.М. Резник. – М.: Канон+РООИ «Реабилитация», 2017. – 632 с.
[28] ***Чалмерс Д.*** Сознающий ум: в поисках фундаментальной теории / Д. Чалмерс // Пер. с англ. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 512 с.
[29] ***Пинкер, С.*** Субстанция мышления: язык как окно в человеческую природу / С. Пинкер // Пер. с англ. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013.- 560 с.
[30] Ontology Summit 2019 Communiqu´e: Explanations / K. Baclawski, M. Bennett, G. Berg-Cross, D. Fritzsche, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, M. Underwood, D. Whitten. - 19 p. - https://ontologforum.s3.amazonaws.com/OntologySummit2019/Communique/communique2019.pdf.
[31] ***Боргест, Н.М.*** Стартап проекта Онторитор / Н.М. Боргест, С.В. Смирнов // Тр. XV Междунар.конфер. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (25-28 июня 2013, Самара, Россия). – Самара: СНЦ РАН. – с.363-366.
[32] ***Gunning D.*** DARPA Explainable Artificial Intelligence, 2018. Retrieved on December 3, 2018 - http://bit.ly/2s9d4pH.
[33] ***Dutton, T.*** An Overview of National AI Strategies / Tim Dutton. Jun 28, 2018. - https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd.
[34] Искусственный интеллект. К выбору стратегии / В. Буров, Д. Гайнулов, А. Зотов, Э. Пройдаков, Н. Уткин, А. Раевский, Е. Хан // Центр подготовки руководителей цифровой трансформации ВШГУ РАНХиГС. – М.: 2019. – 104 с.
[35] Аналитический отчёт. Сравнение национальных стратегий в области искусственного интеллекта / Р.В. Душкин, Д.А. Онацик, Д.С. Суцилов, С. Фадеева // Агентство искусственного интеллекта. Москва, ООО «ДИКРИПТО». 2019. – 16 с.
[36] ***Боргест, Н.М.*** Онтологический подход к формированию оценки субъектов, организационных структур и результатов научной деятельности / Н.М. Боргест // Материалы VII Междунар. конф. «Знания - Онтологии – Теории (ЗОНТ-2019)», Новосибирск: Ин-т математики им. С.Б. Соболева СО РАН, 2019. - с.57-65.
[37] Artificial Intelligence for the American People - https://www.whitehouse.gov/ai/.
[38] U.S. LEADERSHIP IN AI: A Plan for Federal Engagement in Developing Technical Standards and Related Tools Prepared in response to Executive Order 13859 Submitted on August 9, 2019. – 48 p.

STRATEGIES OF INTELLIGENCE AND ITS ONTOLOGY: AN ATTEMPT TO UNDERSTAND

N.M. Borgest

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

Abstract

The author proposes to discuss the strategies of artificial intelligence development, technologies and systems of artificial intelligence. The article begins with a preface in the form of a message from another being, and ends with an afterword in the form of an appeal to the developers of artificial intelligence. The Artificial Intelligence Development Strategy that was adopted in Russia for the period until 2030 became a motive for writing the article. Such concepts as intel-

ligence, the intelligences of the individual and society and their strategies, artificial intelligence, ontologies and explainable artificial intelligence, other being as an ontology of designing are discussed in the article. Links to the reviews of artificial intelligence development strategies adopted in the leading countries of the world are given. The strategies adopted in Russia and the USA are analyzed. The Russian strategy notes the presence of criterion problems and the inconsistency of goals and proposed indicators, the lack of ontologies of subject areas in the development of artificial intelligence systems. The American strategy notes the emphasis made on an understandable, trustworthy, reliable and safe artificial intelligence; ontologies and standards adopted and developed to strengthen the US leadership in the creation of artificial intelligence. In conclusion the importance and necessity of developing and applying ontologies when creating understandable artificial intelligence systems integrated into society is highlighted.

Key words: *strategies, natural intelligence, artificial intelligence, ontology, individual, society*.

Citation: *Borgest NM.* Strategies of intelligence and its ontology: an attempt to understand [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 407-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.

Acknowledgment

The article was prepared on the basis of scientific research within the framework of a subsidized state task to the ICCS RAS at the subject of «Development and research of methods and means of analytical design, computer representation of knowledge, computational algorithms and multi-agent technologies in the problems of optimizing the management of complex systems».

References

[1] ***Pospelov DA.*** Cloud [In Russian]. Artificial Intelligence News No.6, 2003. - P.41-46.
[2] ***Bill Joy.*** Why The Future Doesn't Need Us. 04.01.00. - https://www.wired.com/2000/04/joy-2/.
[3] ***Tsiolkovsky KE.*** False Wisdom [In Russian]. 1933, Archive of the Russian Academy of Sciences: Fund No.555, Inventory 1, Case No.493. - https://tsiolkovsky.org/ru/kosmicheskaya-filosofiya/lozhnaya-mudrost/.
[4] National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period until 2030 [In Russian]. Decree of the President of the Russian Federation of 10.10.2019 N 490 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation."
[5] ***Pospelov GS.*** Artificial intelligence - the basis of a new information technology [In Russian]. Ser. “Academic Readings” - Moscow: Nauka, 1988. - 280 p.
[6] ***Glushkov VM.*** Fundamentals of paperless computer science [In Russian]. 1st ed. 1982, 2nd ed., Revised - M.: Nauka, 1987. - 552 p.
[7] Artificial Intelligence [In Russian]. In 3 books. Book 2. Models and methods: Reference book / Ed. D.A. Pospelov. - M.: Radio and Communications, 1990. - 304 p.
[8] ***Eger SM, Liseitsev NK, Samoilovich OS.*** Fundamentals of aircraft design automation [In Russian]. - M.: Mechanical Engineering, 1986. - 426 p.
[9] ***Borgest NM.*** Automation of the preliminary design of the aircraft [In Russian]. - Samara: Samar.avia.in-t. 1992. - 92 p.
[10] ***Walkman YuR.*** Intelligent technologies for research design: formal systems and semiotic models [In Russian]. - Kiev: Port-Royl, 1998. - 250 p.
[11] ***Borgest NM.*** The ontologies of designing from Vitruvia to Vittikh [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(4): 487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
[12] ***Vittikh VA.*** Prolegomena to Evergetics. *Ontology of designing*. 2015; 5(16): 135-148. – DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
[13] ***Shalagin SV, Salagina GE.*** Cognitive problems of designing based on computer models: technical and socio-humanitarian aspects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(21): 368-376. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-368-376.
[14] ***Russel SJ, Norvig P.*** Artificial Intelligence. A modern approach. Prentice Hill. 2003.
[15] ***Chorost M.*** World Wide Mind. The Coming Integration of Humanity, Machines and the Internet. Free Press, a division of Simon&Schuster. 2011.
[16] ***Finn VK.*** Artificial Intelligence: Methodology, Applications, Philosophy [In Russian]. – M.: KRASAND, 2011. – 448p.
[17] ***Osipov GS***. Lectures on artificial intelligence [In Russian]. - M.: LIBROCOM, 2013. - 272 p.
[18] ***Rapoport GN, Hertz AG.*** Artificial and biological intelligence: common structure, evolution and cognition processes [In Russian]. 2 ed. - M.: KomKniga, 2010. - 312 p.

[19] ***Dushkin RV.*** Artificial Intelligence [In Russia]. - M.: DMK Press, 2019. -380 p. - https://www.litres.ru/roman-dushkin/iskusstvennyy-intellekt/.
[20] ***Russell B.*** Human Knowledge: Its Scope and Limits. London: Georg Allen and Unwin Ltd. 1948. – 538 p.
[21] Economics and mathematics dictionary: Dictionary of modern economics [In Russian]. - M.: Delo. L.I. Lopatnikov. 2003. - https://economic_mathematics.academic.ru/4388.
[22] Shaping the Future of Technology Governance: Artificial Intelligence and Machine Learning - https://www.weforum.org/platforms/shaping-the-future-of-technology-governance-artificial-intelligence-and-machine-learning.
[23] Artificial Intelligence and Robotics - https://www.weforum.org/agenda/archive/artificial-intelligence-and-robotics.
[24] The National Artificial Intelligence Research And Development Strategic Plan: 2019 Update. June 2019. – 50 p. - https://www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019.pdf.
[25] ***Lepsky VE.*** Subject-oriented principles of the organization of self-developing intellectual environments [In Russia]. In the book: Natural and artificial intelligence: methodological and social problems. Ed. D.I. Dubrovsky and V.E. Lepsky. - M.: Canon, 2011. - 352 p. - P.253-280.
[26] ***Shvedin BYa.*** Ontology of the enterprise: an experimentalological approach. Technology for building an ontological model of an enterprise [In Russia]. - M.: LENAND, 2010. - 240 p.
[27] ***Reznik YuM.*** Human Phenomenology: Being Possible [In Russian]. - M.: Kanon + ROOI "Rehabilitation", 2017. - 632 p.
[28] ***Chalmers DJ.*** The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory. Oxford University Press 1997. - 432 p.
[29] ***Pinker S.*** The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature. – Penguin Books? 2007. – 352 p.
[30] Ontology Summit 2019 Communiqu´e: Explanations / K. Baclawski, M. Bennett, G. Berg-Cross, D. Fritzsche, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, M. Underwood, D. Whitten. - 19 p. - https://ontologforum.s3.amazonaws.com/OntologySummit2019/Communique/communique2019.pdf.
[31] ***Borgest NM, Smirnov SV***. Startup of the OntoRhetor project [In Russian]. Proc. XV Internat. Conf. “Problems of control and modeling in complex systems” (June 25-28, 2013, Samara, Russia). - Samara: SSC RAS. - p. 363-366.
[32] ***Gunning D.*** DARPA Explainable Artificial Intelligence, 2018. Retrieved on December 3, 2018 - http://bit.ly/2s9d4pH.
[33] ***Dutton T.*** An Overview of National AI Strategies / Tim Dutton. Jun 28, 2018. - https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd.
[34] Artificial Intelligence. To the choice of strategy [In Russian]. V. Burov, D. Gaynulov, A. Zotov, E. Proidakov, N. Utkin, A. Raevsky, E. Khan // Training Center for Digital Transformation Leaders at VSHGU RANEPA. - M.: 2019. - 104 p.
[35] Analytical report. Comparison of national strategies in the field of artificial intelligence [In Russian]. R.V. Dushkin, D.A. Onatsik, D.S. Sutsilov, S. Fadeeva // Agency of AI. Moscow, LLC "DIKRIPTO". 2019. - 16 p.
[36] ***Borgest NM.*** Ontological approach to the formation of assessments of subjects, organizational structures and results of scientific activity [In Russian]. Materials of the VII Intern. conf. “Knowledge - Ontologies - Theories (ZONT-2019)”, Novosibirsk: Institute of Mathematics named after S.B. Sobolev SB RAS, 2019. - p.57-65.
[37] Artificial Intelligence for the American People - https://www.whitehouse.gov/ai/.
[38] U.S. LEADERSHIP IN AI: A Plan for Federal Engagement in Developing Technical Standards and Related Tools Prepared in response to Executive Order 13859 Submitted on August 9, 2019. – 48 p.

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва в 1978 г., к.т.н. (1985). Профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва, с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям (IAOA), Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 200 работ в области автоматизации проектирования и искусственного интеллекта.

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Senior Research worker at ICCS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAII), co-author of more 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.

УДК 519.711.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОНТОЛОГИЙ: МОДЕЛИ, МЕТОДЫ, РЕАЛИЗАЦИИ

В.Ф. Хорошевский

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
V.Khor@mail.ru

Аннотация

В представленном обзоре обсуждаются вопросы проектирования систем программного обеспечения под управлением онтологий. На основе краткого анализа «классических» технологий, подходов и методов показано, что в настоящее время акценты исследований и разработок всё больше смещаются из области технологий программирования в сторону моделирования процессов проектирования программного обеспечения, а также спецификации разрабатываемых систем и тестирования результатов разработок. Общим трендом является использование методов и средств онтологического моделирования процессов проектирования и спецификаций разрабатываемых систем. Обсуждаются парадигмы моделирования процессов разработки и инжиниринг программного обеспечения на основе повторного использования компонент. При этом общим подходом, поддерживающим рассмотренные парадигмы, является программирование через генерацию. Показано, что исследования и разработки в области создания семантических моделей проектирования программного обеспечения развиваются в настоящее время в рамках нового направления – *Ontology-Based (-Driven) Software Engineering*. При этом наряду с разработками по онтологическому моделированию процессов проектирования программного обеспечения активно ведутся работы по созданию инструментов онтологического инжиниринга в данной предметной области. Теоретические основы онтологического моделирования процессов проектирования программного обеспечения позволяют сместить центр тяжести от моделей сборки программного обеспечения прикладных систем из крупных функциональных блоков к моделям генерации блоков из согласованной системы онтологических паттернов их внутренних спецификаций. Перспективы в рассматриваемой области связаны с использованием методов и средств машинного обучения для генерации онтологических моделей проектирования программного обеспечения.

Ключевые слова: *технологии проектирования, программное обеспечение, онтологическое моделирование, проектирование под управлением онтологий, система онтологий проектирования, прикладная система.*

Цитирование: *Хорошевский, В.Ф.* Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации / В.Ф. Хорошевский // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4(34). - С.429-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.

Введение

Автоматизация проектирования систем программного обеспечения (ПО) имеет более чем 40-летнюю историю и, вместе с тем, остаётся в фокусе современных исследований и разработок. Постановка задачи автоматизации проектирования систем ПО предполагает наличие адекватных моделей всего жизненного цикла (ЖЦ), включая технологии разработки и реализации, модели архитектуры систем и их программных компонент, а также модели генерации ПО и модели предметных областей (ПрО), в которых предполагается функционирование соответствующих систем. Основным трендом в настоящее время является создание и использование семантических моделей автоматизации проектирования ПО.

В работе обсуждаются вопросы проектирования ПО прикладных систем под управлением онтологий. Выполнен ретроспективный обзор используемых в этой ПрО подходов, моде-

лей и методов. Показано, что в настоящее время общим трендом в исследованиях и разработках по автоматизации проектирования систем ПО является использование методов и средств онтологического моделирования как самих процессов проектирования, так и спецификаций разрабатываемых систем. В заключительной части работы указываются перспективы развития рассматриваемого научно-технического направления.

1 Автоматизация проектирования систем ПО

1.1 Модели ЖЦ процессов проектирования ПО

В рамках создания технологий программирования разработаны и активно используются на практике различные модели процессов проектирования ПО [1-3], среди которых наиболее известными являются каскадная модель (*Waterfall model*) [4], спиральная модель Боэма (*Boehm Spiral model*) [5], модель экстрим-программирования (*Extreme programming*) [6], модель «проворного» программирования (*The Agile Software Process*) [7], модель RUP (*Rational Unified Process*) [8], а также стандарты ISO [9, 10] и др. Каждая из перечисленных моделей обладает достоинствами и недостатками, но общим их несовершенством является то, что все они скорее методологические рекомендации и требования, чем формальные модели ЖЦ, которые могут быть основой для полной автоматизации процессов проектирования ПО. Как показывает анализ публикаций, на современном этапе всё большее внимание исследователей и разработчиков привлекают парадигмы и модели проектирования ПО.

1.2 Парадигмы и модели проектирования ПО

Одна из известных парадигм моделирования процессов разработки ПО опирается на понятие ПО-семейства – *Software Product Lines* (SPLs), которое представляет ПО с общей архитектурой и повторно используемыми компонентами [11], что повышает качество, сокращает время, стоимость и сложность разработки [12]. Основная цель SPLs - отказ от разработок «с нуля» путём реконфигурирования и повторного использования компонент существующих в других проектах SPLs. Разработка на базе SPLs включает два процесса: *Domain Engineering* (DE) и *Application Engineering* (AE). Задача DE - разработка общей архитектуры систем семейства и формирование планов для «членов» семейства. Процесс AE ориентирован на создание конкретных продуктов вовремя и с минимальной ценой при высоком качестве.

Сходная с предыдущей парадигма разработки ПО на основе компонент – *Component-Based Development* (CBD или CBE) – базируется на повторном использовании компонент в стиле «вставил и заработало» (*plug-and-play*) и направлена на осуществление давней мечты о создании сложных систем ПО из компонент «с полки» (*off-the-shelf*) [13].

Парадигма инжиниринга ПО под управлением моделей – *Model-Driven Engineering* (MDE) обращается к модельным абстракциям и автоматической генерации кода. В рамках парадигмы MDE основные свойства проектируемой системы выражаются в соответствующих моделях, а генераторы используются для получения исходного кода ПО для различных объектов модели [14, 15]. Модель представляет собой описание будущей системы, которое рассматривается не как документ спецификации, а как повторно используемый артефакт на всём ЖЦ создания ПО [16]. В MDE используются техники «послойного» проектирования с автоматической трансформацией моделей в исходные коды ПО. В рамках MDE используются три слоя: вычислительно-независимая модель – *Computation Independent Model* (CIM), специфицирующая структурные аспекты будущей системы; платформенно-независимая модель – *Platform Independent Model* (PIM), фиксирующая систему как технологически нейтральную виртуальную машину или вычислительную абстракцию; платформенно-зависимая модель –

Platform Specific Model (PSM), которая включает модель платформы и модель реализации. В MDE разработчики создают первую версию разрабатываемого ПО на языке спецификаций UML (*Unified Modeling Language*), а затем путём итераций уточняют её до тех пор, пока она не будет отвечать заданным критериям и не станет достаточно конкретной, чтобы из неё можно было сгенерировать исходные коды ПО разрабатываемой системы.

Общим подходом, поддерживающим рассмотренные выше парадигмы, является программирование через генерацию – *Generative Programming* (GP) [14]. При этом генератор рассматривается как программа, на вход которой поступают высокоуровневые спецификации фрагментов ПО, а на выходе формируется соответствующий исходный код ПО разрабатываемой системы. GP использует техники DE и может применяться в SPLs AE. Дополнительно к UML-моделированию в подходе GP применяется метод *Feature-Oriented Domain Analysis* (FODA), который описывает общие и частные свойства моделируемых объектов и связей между ними. Предметная GP-модель фокусируется на отображении «пространства» проблемы в «пространство» решения, а сам генератор использует техники метапрограммирования для чтения, генерации, анализа или трансформации других программ и даже для модификации своего кода в процессе исполнения [12].

Приведённый обзор парадигм, моделей и методов показывает, что они ориентированы на формальную спецификацию процессов проектирования ПО, но остаются в «традиционном» русле автоматизации программирования. В последнее время всё большее внимание исследователей и разработчиков привлекают семантические модели проектирования ПО.

2 Семантические модели проектирования ПО

Исследования и разработки в области создания семантических моделей проектирования ПО развиваются в настоящее время в рамках нового направления – *Ontology-Based Software Engineering* (OBSE) или *Ontology-Driven Software Engineering* (ODSE). Иногда это направление называют программной инженерией - *Software Engineering* 2.0 [17-22].

Так, в работе немецкого специалиста В. Гессе (W. Hesse) [17] даётся сравнительный анализ атрибутов ЖЦ программной инженерии и онтологического инжиниринга (таблица 1).

В рамках OBSE-ODSE можно выделить несколько тематик исследований и разработок. Наиболее развитым является онтологическое моделирование процессов управления разработками ПО [21], которое исторически имеет своим базисом работы в рамках канадского проекта TOVE (*TOronto Virtual Enterprise*) и проекта *Enterprise Project* [23, 24].

С точки зрения целей и задач настоящей работы интересными являются исследования и разработки по созданию онтологий проектирования ПО [25-31], а также по разработке и использованию соответствующих инструментальных средств в конкретных прикладных системах на основе онтологий [32-40].

2.1 Семантические модели процессов создания ПО

Как показывает анализ публикаций, все семантические модели процессов создания ПО опираются на ту или иную классификацию используемых моделей.

В работе [26] на основе анализа фаз ЖЦ построения систем ПО предложена следующая классификации системы онтологических моделей для этой ПрО:

- разработка под управлением онтологий – *Ontology-driven development* (ODD) – предполагает использование онтологий в процессе создания ПО для спецификации ПрО разработки;

Таблица 1 – Сравнительный анализ атрибутов ЖЦ программной инженерии и онтологического инжиниринга (адаптировано из [17])

	Software Engineering	***Ontology Engineering***
Длительность	• детерминирована, ограничена рамками одного проекта	• недетерминирована, неограничена
Структура	• фазы, группировка в итерации и активности	• эволюционные, группировка в итерации и активности
Подпроцессы	• для компонент, инкрементные или специальные задачи	• для разработки или ревизии ПрО
Парадигмы	• водопадная • инкрементная • на базе компонент • прототипирование, спиральная	• инкрементная • на базе компонент • эволюционная
Активности и артефакты	• поиск и описание случаев • определение требований • построение концептуальной модели / класса структур • построение архитектуры системы, спецификация компонент и модулей • кодирование: использование / генерация на конкретных языках программирования • тестирование и отладка • интеграция, тестирование подсистем • развёртывание • валидация, адаптация к окружению • получение обратной связи от пользователей • ревизия (при необходимости)	• идентификация потенциальных приложений • анализ терминологии • построение таксономий • построение и заполнение глоссариев • определение фактов и правил • сравнение глоссариев, разрешение терминологических конфликтов • формализация: трансляция в формальный язык спецификации онтологий • интеграция: связывание и валидация под-онтологий, адаптация с онтологиями верхнего / соседнего уровня • публикация онтологий • валидация, получение обратной связи • определение требований для ревизии
Языки / средства спецификации	• диаграммы случаев • естественный язык • ER-диаграммы, UML • псевдокод • языки программирования	• естественный язык • ER-диаграммы, UML • глоссарии, таблицы • семантические сети • тематические карты • логики • концептуальные графы • фреймы, DAML+OIL, OWL
Целевые группы	• пользователи • клиенты • (другие) разработчики	• предметные эксперты • разработчики • агенты
Результаты и продукты	• ориентация на проект • краткосрочная ориентация • (чаще) не используемые повторно • изолированы, ограничены конкретными приложениями	• охватывающие много проектов • ориентированы на долгосрочную перспективу • повторно используемые • «разделяемые» многими организациями и между многими проектами

- поддержка разработки на основе онтологий – *Ontology-enabled development* (OED) – тоже использует онтологии в процессе разработки, но здесь они ориентированы на поддержку разработчиков при решении их задач;
- архитектура ПО на базе онтологий – *Ontology-based architectures* (OBA), здесь онтологии используются как первичные артефакты на этапе исполнения и играют центральную роль в логике приложения;
- поддержка архитектуры на основе онтологий – *Ontology-enabled architectures* (OEA) – предполагает использование онтологий для обеспечения поддержки инфраструктуры во время работы программной системы (хорошим примером здесь могут быть базы знаний интеллектуальных прикладных систем, где онтологии добавляют семантический слой поверх существующих описаний, расширяя функциональные возможности разработанного ПО).

Отдельные кластеры данной классификации могут перекрываться, а онтологии из этих кластеров – использоваться на разных этапах ЖЦ разработки ПО.

Общепризнанные в области онтологического инжиниринга специалисты Н. Гуарино (N. Guarino[1]) и Д. Фензел (D. Fensel[2]) придерживаются несколько другой классификации онтологий, которая базируется на уровнях общности онтологических моделей:

- онтологии верхнего уровня (*Generic* или *Upper*), специфицирующие общие знания о мире и применимые в различных ПрО;
- онтологии представления (*Representational*) сущностей без привязки к определённой ПрО;
- предметные (*Domain*) онтологии, где специфицируются знания из заданной ПрО;
- онтологии методов и задач (*Method & Task*).

В работе [41] предложена расширенная классификация онтологий на основе предмета концептуализации:

- онтологии представления знаний (*Knowledge representation ontologies*), которые используются для спецификации знаний в рамках конкретной парадигмы их представления;
- общие онтологии (*Common or generic ontologies*) представляют повторно используемые знания здравого смысла (*common-sense knowledge*);
- онтологии высшего уровня (*High-level ontologies*) описывают общие понятия;
- предметные онтологии (*Domain ontologies*), предлагающие словари для понятий в определенной ПрО;
- онтологии задач (*Task ontologies*), где специфицируются словари базовых (общих) активностей;
- онтологии задач ПрО (*Domain task ontologies*), повторно используемые в некоторой ПрО;
- онтологии методов (*Method ontologies*), которые применяются для спецификации процессов вывода при выполнении частных задач;
- прикладные онтологии (*Application ontologies*) зависят от приложений и часто являются специализацией предметных или задачных онтологий.

Работа специалистов из Юго-Восточной Азии [29] посвящена созданию и использованию онтологии процессов ПО (*Software Process Ontology*), фрагмент которой приведён на рисунке 1. Как утверждают авторы, разработанная ими онтологическая модель отвечает требованиям ISO/IEC 15504.

---

[1] См. например: ***N. Guarino***. Formal Ontology and Information Systems. Proc. of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15. - *Прим.ред.*

[2] См. например: ***D. Fensel.*** Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce, Springer-Verlag, Berlin, 2001. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 2003. - *Прим.ред.*

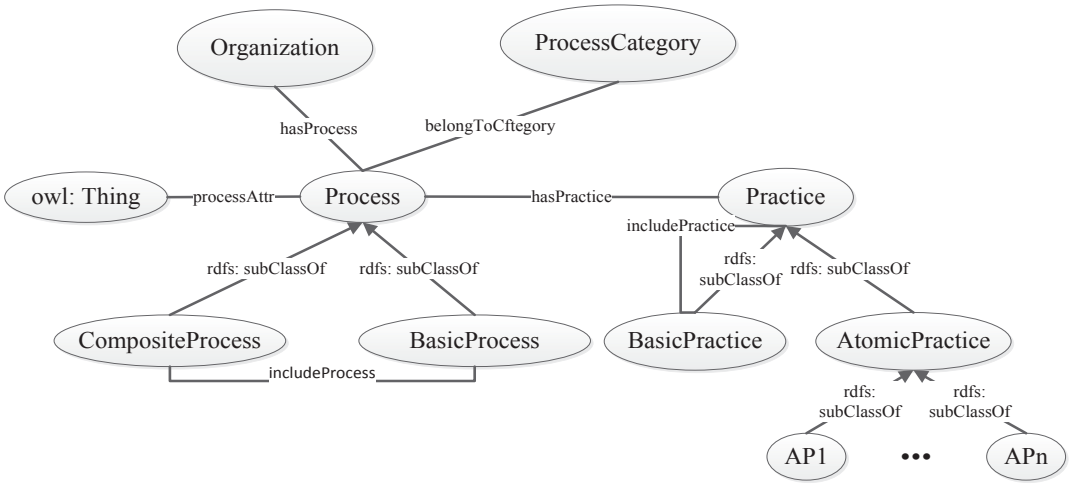


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии процессов ПО [29]

В работе [42] для поддержки процессов сопровождения ПО описан комплекс онтологий сопровождения ПО, включающий онтологию ПО, где представлены такие концепты, как ПО, пользователи и документация; онтология знаний и умений в области *computer science* с концептами компьютерные технологии и языки моделирования; онтология процессов модификации с концептами запрос на модификации и обслуживание; онтология организационных структур с такими понятиями, как организационная единица и директива; прикладная онтология, которая связывает понятия ПрО с задачами, которые должны в ней быть выполнены. С использованием метода извлечения знаний в области создания систем ПО (*Post-Mortem Analysis*) [43] разработана методология, которая обеспечивает точное представление знаний о разных стадиях процесса сопровождения ПО согласно ISO/IEC 14764 [44] на базе использования собственного комплекса онтологий сопровождения ПО.

Многолетние исследования и разработки в области онтологий ведутся и в департаменте Компьютерной науки и Информационных систем (Department of Computer Science and Information Systems) университета Яваскила (University of Jyvaskyla) в Финляндии. Одной из базовых публикаций этого исследовательского коллектива является работа его руководителя М. Леппанена (M. Lepppanen) [45], в которой обсуждается методология проектирования многоуровневых онтологий на базе контекстов (рисунок 2).

В подходе финской школы выделяются семь контекстных областей, из которых «получают» концепты для уточнения и интерпретации контекстных явлений: цель, лицо, действие, объект, возможность, место и время. Структурирование понятий внутри и между областями осуществляется по схеме 7S: *for **S**ome purpose, **S**omebody does **S**omething for **S**omeone, with **S**ome means, **S**ometimes and **S**omewhere* (с какой целью кто-то делает что-то для кого-то с помощью некоторых средств время от времени и в некотором месте).

Что представляется важным в подходе финской школы? Во-первых, это спецификация онтологий на основе теории контекстов. Во-вторых, спецификация отдельных контекстных областей с их «внутренними» отношениями, а также введение в рассмотрение «внешних» связей между объектами разных контекстных областей. В-третьих, подход может быть использован для интеграции разноуровневых по семантике и целям проектирования онтологий.

Из приведённого обзора можно видеть, что в настоящее время общепризнанной классификации онтологических моделей не существует. Имеющиеся классификации являются либо слишком общими, чтобы использоваться непосредственно в качестве основы для построения системы онтологических моделей процессов проектирования ПО, либо настолько частными, что их использование в данной ПрО представляется затруднительным.

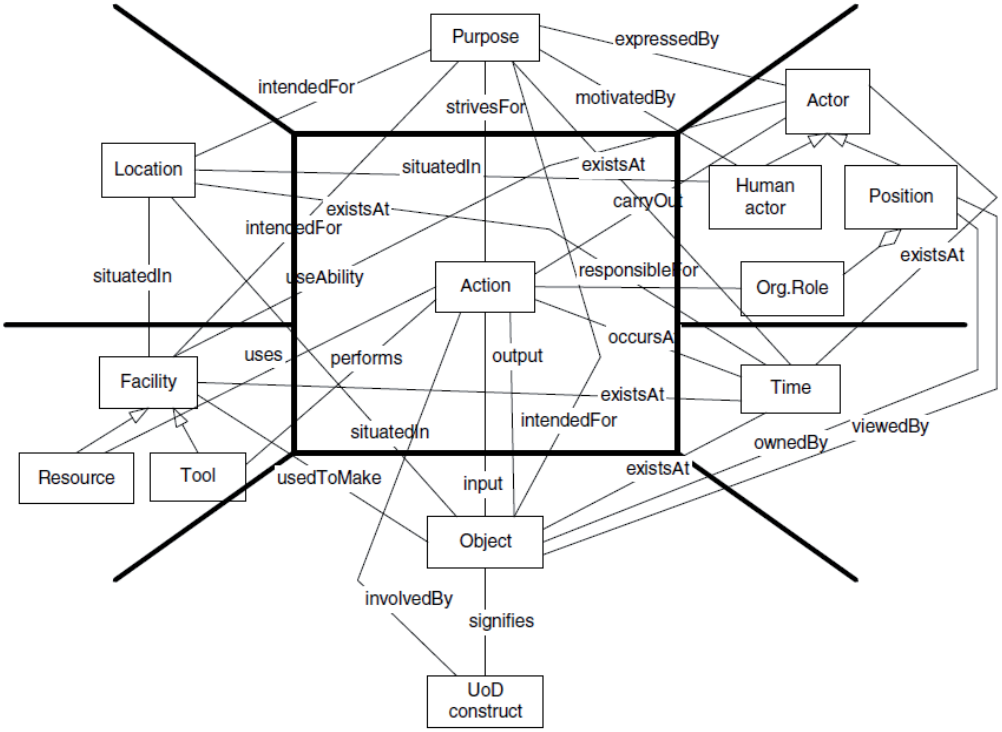


Рисунок 2 – Структура системы онтологий, основанной на контекстах [45]

Практически значимая онтологическая модель процессов проектирования систем ПО должна отвечать следующим требованиям:

- адекватное онтологическое представление проектируемых систем ПО, включая их архитектуру, спецификацию отдельных компонент и связей между ними;
- эффективная генерация исходных кодов разрабатываемого ПО под управлением системы сбалансированных онтологий;
- правильное отражение процессов проектирования ПО.

Структурно такая система онтологий должна быть многоуровневой. И здесь, по нашему мнению, может быть использован подход 7S М. Леппанена [45].

2.2 Семантические модели прикладных систем ПО

Наряду с исследованиями и разработками по онтологическому моделированию процессов проектирования ПО в рамках направления OBSE-ODSE активно ведутся работы по созданию инструментов онтологического инжиниринга в данной ПрО, см. например, работы [32, 34, 37-39]. При этом характерна ориентация на комплексное решение существующих в данной области проблем.

Хорошим примером является европейский проект MOST (*Marrying Ontology and Software Technology*) [46], ориентированный на повышение качества разработок ПО на основе использования семантических технологий и методов логического вывода. В рамках проекта реализована бесшовная интеграция семантических технологий в разработку ПО на основе моделей (MDSD - *Model Driven Software Development*), что привело к созданию методов и средств разработки ПО на основе онтологий (ODSD - *Ontology-Driven Software Development*). Интеграция касается, прежде всего, языков моделирования, что обеспечивает возможности преобразования интегрированных моделей с использованием унифицированных метамоделей. Онтологии и модели интегрируются таким образом, чтобы онтологии можно было использовать в моделях и наоборот. Запросы на основе онтологий интегрированы на уровне преобра-

зований MDA (*Model Driven Architecture*) и помогают разработчику выполнять требования и принимать решения по моделированию. Программный комплекс, основанный на онтологиях и управляемый моделями MOST, обеспечивает управление процессами разработки, которое формализует правила, условия и действия инженеров-программистов. Таким образом, проект MOST покрывает и фундаментальные исследования, и прикладные разработки.

В ряде публикаций предлагаются определённые методы онтологического моделирования процессов проектирования ПО и инструменты, разработанные на его основе.

Так, в работе [32] предложено повторное использование ПО на основе онтологического подхода. Представлена база знаний KOntoR, в которой онтологии повышают ценность библиотек для повторного использования за счёт семантической интеграции явных и неявных метаданных, что обеспечивает средства для получения новых фактов. Фрагмент онтологии KOntoR приведён на рисунке 3. Авторы приводят примеры, которые показывают, как пользователи библиотеки ПО могут извлечь выгоду из формализованных знаний, например, о лицензиях на ПО или технологиях программирования.

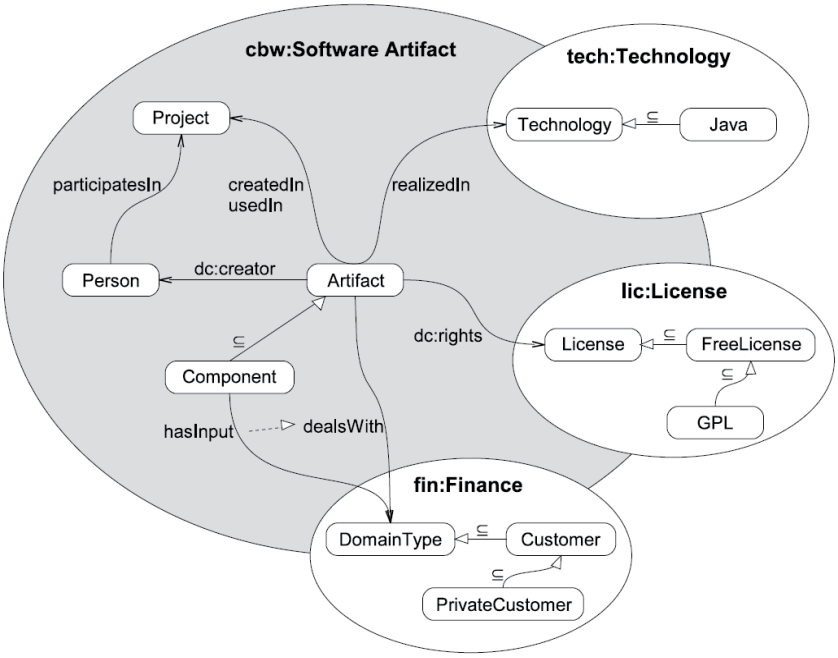


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии KOntoR [32]

В работе [34] акцент сделан на использовании *Semantic Web* в качестве среды для представления знаний об эволюции ПО с помощью онтологий, технологий связанных данных (*Linked Data*) и рассуждений. Авторы разработали пирамиду онтологий для формального описания эволюции ПО (SEON), где специфицируются участники процесса разработки, их деятельность, артефакты, которые они создают, и отношения между ними (рисунок 4).

Реализация инструментария поддержки SEON выполнена в виде веб-сервисов с интерфейсом запросов на естественном языке и визуализацией результатов. Представлены три приложения, которые работают с SEON в качестве семантической основы. Первое – платформа веб-сервисов анализа эволюции ПО (рисунок 5); второе – ЕЯ-интерфейс для ответов на вопросы по пониманию программ (*Hawkshaw*); третье приложение представляет собой рекомендующую систему *Semantic Visualization Broker* (SVB) для анализа семантики заданного набора данных и составления списка визуализаций, которые могут быть полезны для более глубокого понимания анализируемой системы ПО.

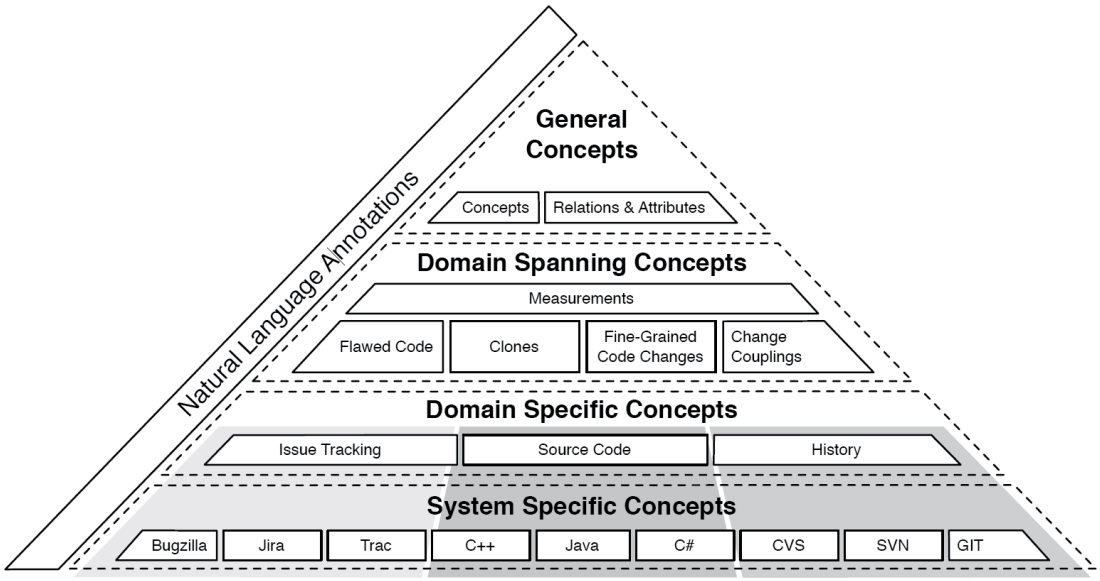


Рисунок 4 – Пирамида онтологий эволюции ПО [34]

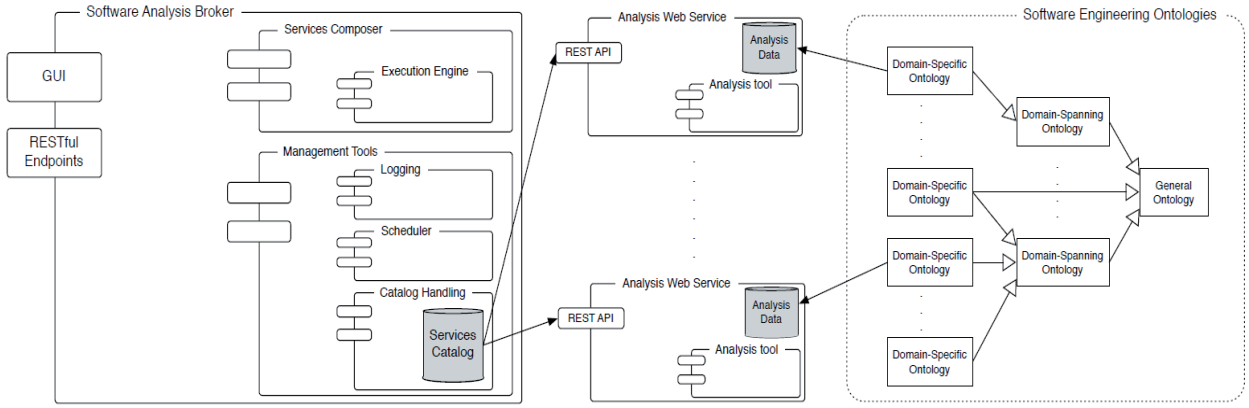


Рисунок 5 – Платформа Веб-сервисов анализа эволюции ПО [34]

В работе [37] представлен инструментарий помощи интеллектуальным агентам в решении задач разработки и настройки ПО. Предложенный метод – это онтологический подход, помогающий в принятии решений и обмене информацией посредством использования онтологии ODYSSEY для спецификации ЖЦ разработки ПО. Онтология ODYSSEY разработана в соответствии с методологией *Enterprise Ontology* и закодирована в формализме *Descriptive Logic* (DL). Здесь интересна попытка формального описания классических моделей ЖЦ разработки ПО. Например, DL-спецификация верхнего уровня водопадной модели ЖЦ разработки ПО определяется как

$$\begin{aligned} \text{Waterfall\_Model} \subseteq \text{Model} \; & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P1=System\_Requirement}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P2=Software\_Requirement}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P3=Analysis}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P4=Program Design}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P5=Coding}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P6=Testing}\} \\ & \wedge \exists \; \text{hasPhase}=\{\text{P7=Operations}\}, \end{aligned}$$

а представление этой спецификации в системе Protégé показано на рисунке 6.

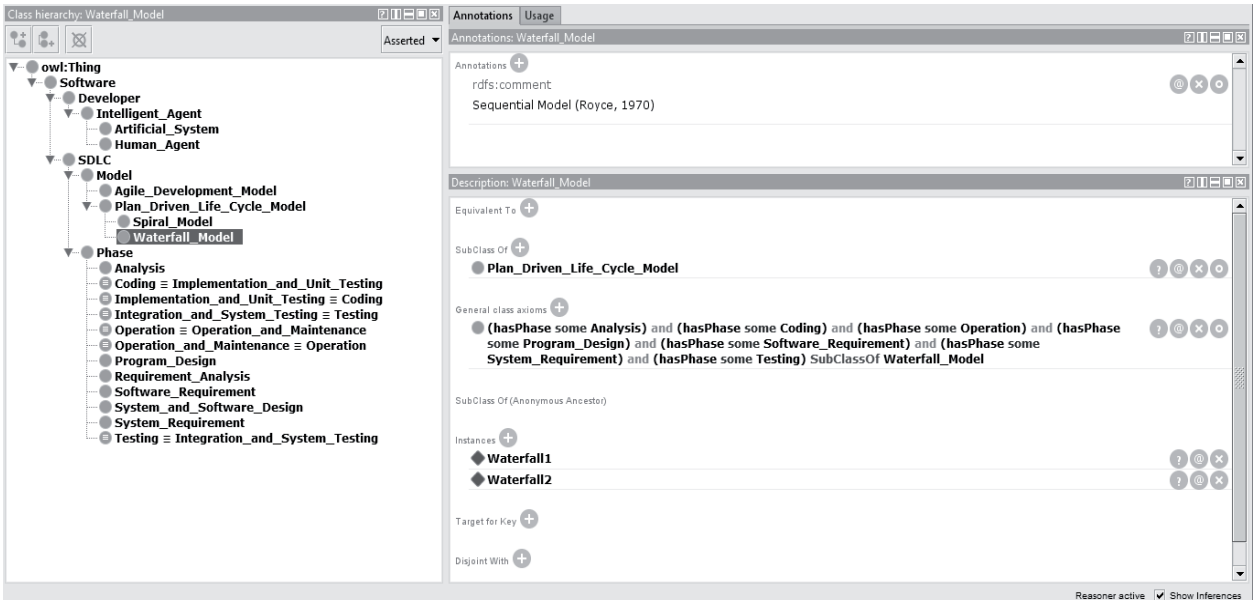


Рисунок 6 – Фрагмент онтологии водопадной модели ЖЦ [37]

В исследовании [38] авторами предлагается DKDOnto – онтология ПрО для распределённых программных проектов. Цель создания этой онтологии - поддержка проектов путём определения общего словаря для рассредоточенных команд разработчиков. Пользователи DKDOnto могут консультироваться с базой знаний, которая возвращает по их запросам лучшие практики, найденные в той же конфигурации проекта. Полученные ответы могут использоваться другими командами, вовлечёнными в тот же проект, или другими командами из других проектов. Фрагмент онтологии DKDOnto представлен на рисунке 7.

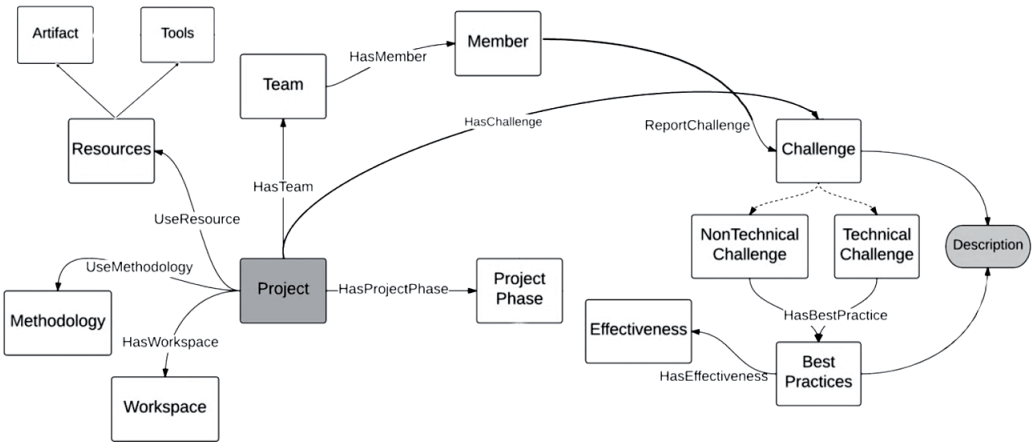


Рисунок 7 – Фрагмент онтологии DKDOnto [38]

В работе [39] отмечается, что онтологии в настоящее время являются частью большого числа информационных систем. В результате команды разработчиков ПО, которым приходится объединять деятельность по разработке онтологий с практиками разработки ПО, сталкиваются с рядом проблем, поскольку эти две области развивались, как правило, раздельно. Подход авторов *OnToology* состоит в том, чтобы обеспечить:

- автоматизацию крупномасштабных вспомогательных действий, связанных с разработкой онтологий, включая документирование, управление версиями, оценку и публикацию онтологий, которые поддерживаются и управляются версиями в известной среди разработчиков ПО среде распределённой системе управления версиями *Git*;

- рабочее место для поддержки непрерывной интеграции, когда регистрируются новые изменения в онтологии;
- интеграцию всех работ с *Git*.

Архитектура программного комплекса *OnToology* представлена на рисунке 8.

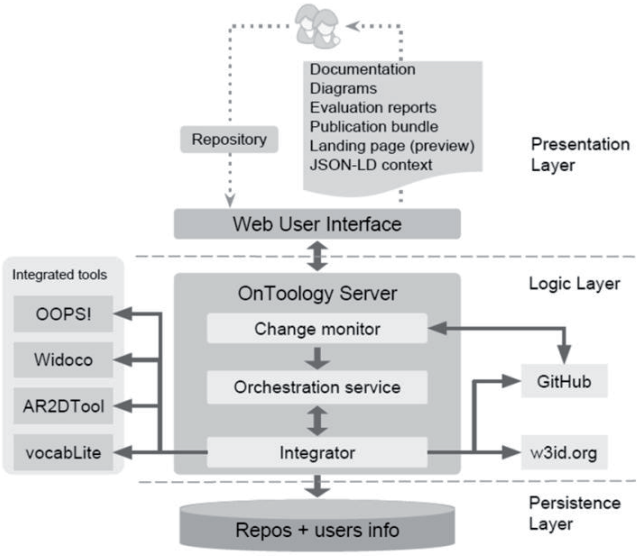


Рисунок 8 – Архитектура программного комплекса OnToology [39]

При этом *OnToology* может поддерживать как отдельных проектировщиков, так и команды разработчиков в рамках ЖЦ *Git*. *OnToology* – это веб-система, которая объединяет набор существующих инструментов для документации, оценки и публикации. Таким образом, инструментарий *OnToology* претендует на внедрение средств онтологического инжиниринга в «классические» инструменты совместного проектирования ПО и конкурирует с *WebProtege* [47, 48]. Интересным в данном решении является то, что в инструментарии *OnToology* поддерживается преобразование онтологий, спроектированных с использованием OWL, в JSON-представление. Важно и то, что данный инструментарий интегрирован с привычной для разработчиков ПО средой совместного проектирования *Git*.

Вопросы создания ПО прикладных систем на базе онтологических моделей рассматриваются в работах [49-53], выполненных в нашей стране. Так, в работе [49] обсуждаются общие принципы использования онтологий при разработке программных систем и их сопровождении, даётся классификация онтологий, используемых при проектировании, проведён анализ способов их применения.

В работе [51] предлагается подход к построению ПО для проектирования теплоснабжающих систем (ТСС) на основе концепции модельно-управляемой разработки. Используются технологии метапрограммирования и знания о ПрО в виде онтологий. Приведено описание программного комплекса СОСНА, разработанного на базе изложенного подхода. Программная система автоматически строится на основе следующих компонент: компьютерной модели конкретной ТСС; предварительно разработанных моделей элементов ТСС; программных компонент, реализующих методы и алгоритмы решения прикладных задач; онтологической системы предметных знаний (рисунок 9).

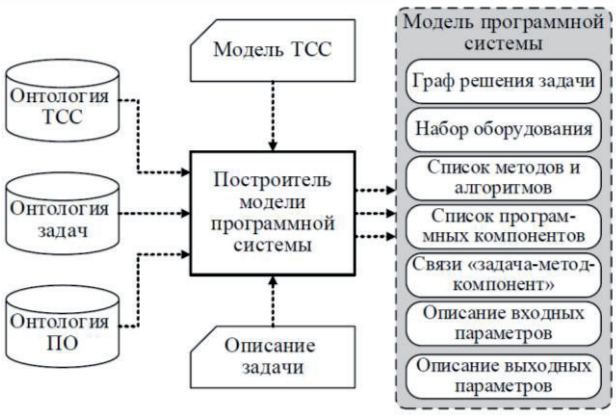


Рисунок 9 – Схема построения модели программной системы [51]

Наиболее интересным здесь является то, что алгоритм верхнего уровня, определяющий схему взаимодействия программных компонент и ход вычислительного процесса, строится автоматически во время построения программной системы на основе описания

прикладной задачи и методики её решения, а преобразование математических и графических моделей элементов ТСС в программный код осуществляется на основе XSLT-правил (*eXtensible Stylesheet Language Transformations* — язык преобразования XML-документов).

В работе [52] обсуждаются вопросы использования логической модели представления знаний для обеспечения системы требований к ПО. В рамках модели определяются различные типы требований и устанавливаются иерархические и ассоциативные отношения между ними. На основе критического анализа существующих моделей требований строится онтология типов требований, определяющая отношения между типами требований (классами онтологии), с использованием теории полевой структуры частей речи. Здесь представлена одна из немногих попыток построения онтологии проектирования ПО на основе лингвостатистического анализа текстов требований к разрабатываемому ПО. Для решения проблемы обеспечения выполнения свойств спецификации предлагается гибридная модель знаний, включающая фреймовую онтологию, содержащую иерархическое описание типов (классов) требований и ассоциативных связей между ними (рисунок 10) и систему правил, основанную на продукционной (логической) модели представления знаний.

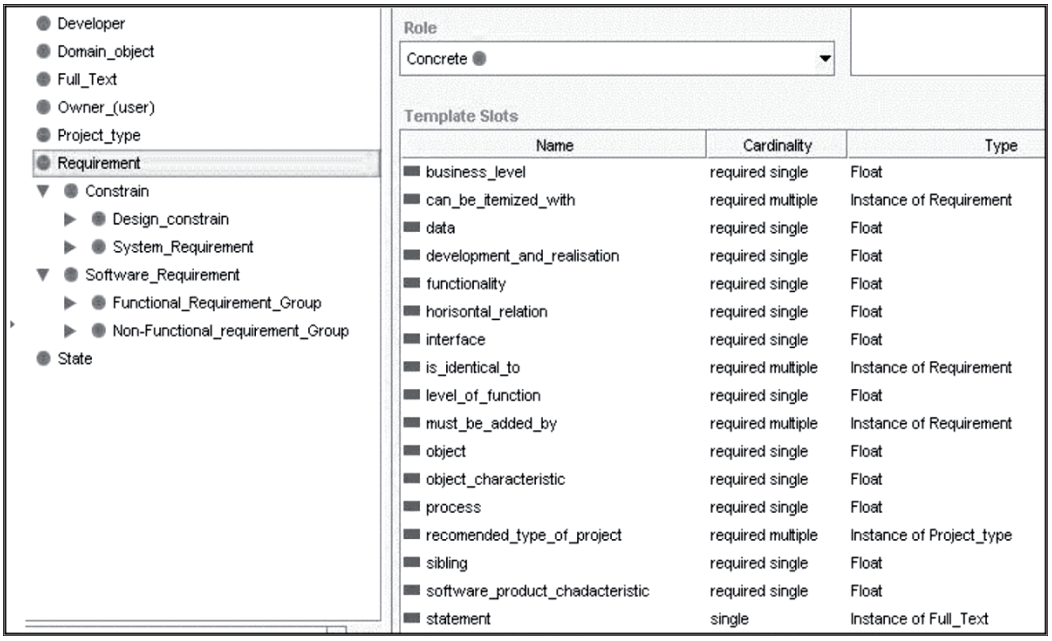


Рисунок 10 – Фрагмент онтологии требований в инструментарии Protégé [52]

Работа [53] посвящена обсуждению вопросов повторного использования знаний и организации системы поддержки принятия решений при управлении взаимодействующими бизнес-процессами в проектно-ориентированных организациях. Интересным здесь представляется разработка онтологии прецедентов проблемных ситуаций (рисунок 11) и онтологической модели управления взаимодействующими процессами в ИТ-проектах.

Нетрадиционный подход к разработке методов и средств семантического моделирования и проектирования представлен в работе [54]. Здесь каждая единица gB-системы (*good Base*) представляет собой стандартную Excel-книгу, а каждая родовидовая разновидность онтологических моделей имеет свой Excel-шаблон. При этом ядро gB-системы образует объектно-ориентированная СУБД на таблично-реляционном остове Excel, а программный интерфейс СУБД является составной частью онтологии решателей задач.

Вопросам онтологического моделирования процессов создания ПО и прикладных исследований в данной области посвящены работы [55-57], выполненные на Украине.

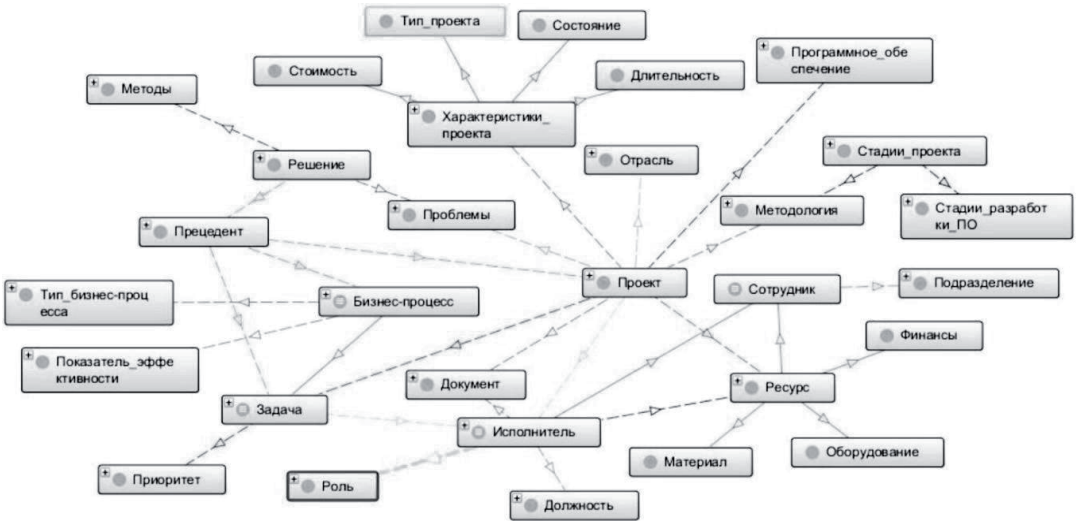


Рисунок 11 – Фрагмент онтологии прецедентов проблемных ситуаций [53]

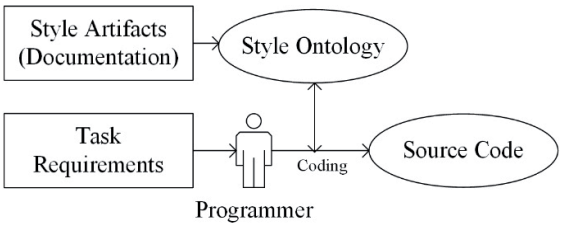


Рисунок 12 – Система онтологических моделей стилей программирования [56]

Так, например, в работе [56] представлен онтологический подход к моделированию процессов использования стилей программирования (рисунок 12). В частности, рассматривается представление стандартов на стили программирования в форме онтологии и применение решателя на основе дескриптивной логики в качестве ассистента программиста. По сути, здесь предлагается собственно онтология стилей программирования (рисунок 13) и инструмент для поддержки управляемого этой онтологией применения стилей, реализованный на языке Java (рисунок 14).

В работе [57] ставится и решается практически важная задача семантического анализа спецификаций (на примере требований к медицинскому ПО). Обсуждается реализация интеллектуального агента (ИА), оценивающего входную информацию для формирования таких спецификаций. В разработанной системе использована онтология требований для медицинской информационно-аналитической системы учёта терапевтических и диагностических мероприятий, предоставляемых раненым во время перевозки. Экспериментально показано, что именно ИА обеспечивает повышение уровня достаточности входной информации для определения качества ПО на 24%.

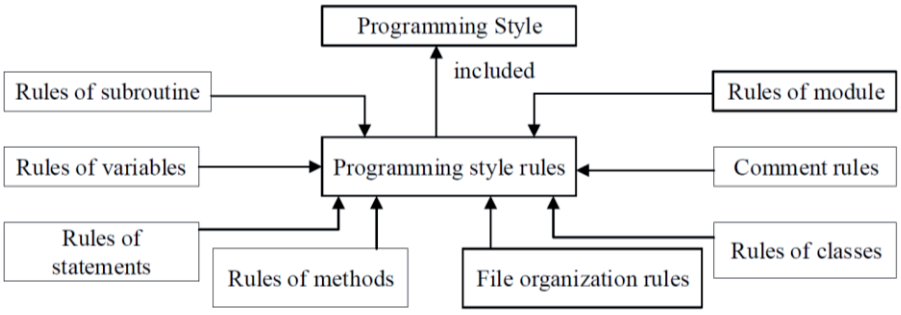


Рисунок 13 – Концептуализация онтологии стилей программирования [56]

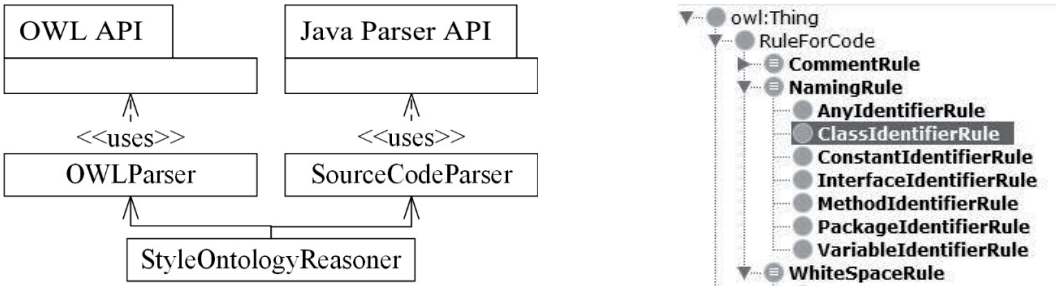


Рисунок 14 – Схема машины вывода и фрагмент онтологии стилей программирования [56]

В заключение автор хотел бы отметить, что основным направлением его собственных дальнейших исследований и разработок является применение методов и средств OBSE-ODSE для автоматизации проектирования систем извлечения информации из ЕЯ-текстов. Теоретические аспекты работ в этом направлении представлены в [58], а первые результаты – в [59].

Заключение

В работе представлен аналитический обзор подходов, моделей, методов проектирования ПО прикладных систем под управлением онтологий.

На основе проведённого анализа можно сформулировать следующие утверждения:

- современная постановка задачи автоматизации проектирования систем ПО предполагает наличие адекватных моделей всего ЖЦ, включая технологии разработки и реализации, модели архитектуры систем и их программных компонент, а также модели генерации ПО и модели ПрО, в которых предполагается функционирование соответствующих систем;
- общим трендом настоящего времени является создание и использование методов и средств онтологического моделирования как самих процессов проектирования, так и спецификаций разрабатываемых систем;
- основное внимание в современных исследованиях уделяется созданию онтологических моделей процессов проектирования ПО.

Можно отметить следующие особенности и перспективы развития данного научно-технического направления.

- Теоретические основы онтологического моделирования процессов проектирования ПО находятся на том уровне, когда центр тяжести исследований и разработок будет смещаться от моделей сборки ПО прикладных систем из крупных функциональных блоков в модели генерации самих блоков из согласованной системы онтологических паттернов их внутренних спецификаций.
- Тренд в области OBSE-ODSE связан с использованием методов и средств машинного обучения для генерации онтологических моделей проектирования ПО. Для выхода этого тренда на плато продуктивности потребуется ещё много фундаментальных исследований.
- Перспективными кандидатами на использование методов и средств проектирования ПО под управлением онтологий являются прикладные интеллектуальные системы, где основными компонентами можно считать базы знаний и машины вывода, которые, в свою очередь, могут строиться на основе онтологических моделей.

Список источников

[1] ***Липаев, В.В.*** Проектирование и производство сложных заказных программных продуктов / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2011. – 408 с.

[2] ***Bhuvaneswari, T.*** A Survey on Software Development Life Cycle Models / T. Bhuvaneswari, S. Prabaharan // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. - 2013. - Vol. 2, Issue 5. - P.262-267.

[3] ***Half, R.*** Basic SDLC Methodologies: Which One is Best? / R. Half. – https://www.roberthalf.com/blog/salaries-and-skills/6-basic-sdlc-methodologies-which-one-is-best.

[4] ***Winston, W.R.*** Managing the Development of Large Software Systems / W.R Winston // Proceedings, IEEE WESCON. - 1970. - P.1-9.

[5] ***Boehm, B.*** A Spiral Model of Software Development and Enhancement / B. Boehm // ACM SIGSOFT Software Engineering Notes. - 1986. - 11(4). - P.14-24.

[6] ***Beck, K.*** Extreme Programming Explained: Embrace Change / K. Beck - Addison-Wesley. 1999. – 237 p.

[7] ***Beck, K.*** Manifesto for Agile Software Development / K. Beck, M. Beedle, A. van Bennekum, A. Cockburn, W. Cunningham, M. Fowler, J. Grenning, J. Highsmith, A. Hunt, R. Jeffries, J. Kern, B. Marick, R.C. Martin, S. Mellor, K. Schwaber, J. Sutherland, D. Thomas // Agile Alliance. - 2001. – https://agilemanifesto.org/.

[8] ***Jacobson, S.*** The Rational Objectory Process - A UML-based Software Engineering Process / S. Jacobson // Rational Software Scandinavia AB, 2014. – 17 p.

[9] ***Henderson-Sellers, B.*** An ontology for ISO software engineering standards: 1) Creating the infrastructure / B. Henderson-Sellers, C. Gonzalez-Perez, T. McBride, G. Low. // Computer Standards & Interfaces. – 2014. - 31, 36(3). - P. 563-576.

[10] ISO/IEC/IEEE 12207:2017 Systems and software engineering – Software life cycle processes. – https://www.iso.org/standard/63712.html.

[11] ***Asikainen, T.*** A domain ontology for modelling variability in software product families / T. Asikainen, T. Männistö, T. Soininen // Adv. Eng. Inform. - 2007. – 21. - P.23-40.

[12] ***Strmečki, D.*** An Overview on the use of Ontologies in Software Engineering / D. Strmečki, I. Magdalenić, D. Kermek // Journal of Computer Science. – 2016. - 12 (12). - P.597-610.

[13] ***Ringert, J.O.*** Multiplatform generative development of component and connector systems using model and code libraries / J.O. Ringert, B. Rumpe, A. Wortmann // Proc. of the 1st International Workshop on Model-Driven Engineering for Component-Based Systems, CBS' 14 (Valencia, Spain, 2014). - P.26-35.

[14] ***Magdalenić, I.*** Autogenerator: Generation and execution of programming code on demand / I. Magdalenić, D. Radošević, T. Orehovački // Expert Syst. Applic. - 2013. – 40. - P.2845-2857.

[15] ***Lilis, Y.*** Staged model-driven generators: Shifting responsibility for code emission to embedded metaprograms / Y. Lilis, A. Savidis, Y. Valsamakis // Proc. of the 2nd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (Jan. 7-9, 2014). - IEEE Xplore Press, 2014. - P. 509-521.

[16] ***Rodrigues da Silva, A.*** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model / A. Rodrigues da Silva // Comput. Lang. Syst. Struct. - 2015. – 43. - P. 139-155.

[17] ***Hesse, W.*** Ontologies in the Software Engineering process / W. Hesse // Proc. of the 2nd GI-Workshop on Enterprise Application Integration, EAI-05 (Marburg, Germany, June 30 / July 1st, 2005). – https://pdfs.semanticscholar.org/7812/c8ac3e35a78d35c1df93f09108c69884e7f1.pdf.

[18] ***Dillon, T.S.*** Ontology-based Software Engineering - Software Engineering 2.0 / T.S. Dillon, E. Chang, P. Wongthongtham // Proc. 19th Australian Conference on Software Engineering. - 2008. - P.13-23.

[19] ***Henderson-Sellers, B.*** Bridging metamodels and ontologies in software engineering / B. Henderson-Sellers // Journal of Systems and Software. – 2011. - 84(2). - P.301-313.

[20] ***Isotani, S.*** Ontology Driven Software Engineering: A Review of Challenges and Opportunities / S. Isotani, I.I. Bittencourt, E.F. Barbosa, D. Dermeval, R.O.A. Paiva // IEEE Latin America Transactions. – 2015. - Vol. 13, No. 3. - P.863-869.

[21] ***Bhatia, M.P.S.*** Ontologies for Software Engineering: Past, Present and Future / M.P.S. Bhatia, A. Kumar, R. Beniwal // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. - 9(9). - P.8-17.

[22] ***Боргест, Н.М.*** Границы онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). – С.7-33. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.

[23] ***Fadel, F.G.*** A generic enterprise resource ontology / F.G. Fadel, M.S. Fox, M. Gruninger // Proc. of 3rd IEEE Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WET ICE'94 (April 1994, Morgantown, West Virginia), 1994. - P.117–128.

[24] ***Uschold, M.*** The Enterprise Ontology / M. Uschold, M. King, S. Moralee, Y. Zorgios // The Knowledge Engineer Review. - 1998. - 13(1). - P.31-89.

[25] ***Mendes, O.*** Software engineering ontology: A development methodology / O. Mendes, A. Abran // Metrics News. - 2005. – 9. - P.68–76.
[26] ***Happel, H.*** Applications of ontologies in software engineering / H. Happel, S. Seedorf // Proc. of the 2nd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering, ESE' 06. - 2006. - P.1-14.
[27] ***Bossche, M.V.*** Ontology Driven Software Engineering for Real Life Applications / M.V. Bossche, P. Ross, I. MacLarty, B. van Nuffelen, N. Pelov // Proc. 3rd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering, SWESE 2007 (Innsbruck, Austria, 2007). – https://www.odaseontologies.com/wp-content/uploads/2016/03/Ontology-Driven-Software-Engineering-for-Real-Life-Applications-OK.pdf.
[28] ***Nianfang, X.*** Software components description based on ontology / X. Nianfang, Y. Xiaohui, L. Xinke // Proc. of the 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation (Jan. 22-24, 2010). - IEEE XPlore Press; 2010. - P.423-426.
[29] ***Liao, L***. Software Process Ontology and Its Application / L. Liao, Y. Qu, H.K.N. Leung // Studies on the Semantic Web. Vol. 17: Semantic Web Enabled Software Engineering. - IOS Press, 2014. - P.207-217.
[30] ***Pileggi, S.F.*** Ontology in Software Engineering / S.F. Pileggi, A. Lopez-Lorca, G. Beydoun // Proc. Australasian Conference on Information Systems 2018 (Sydney, Australia, 2018). – http://www.acis2018.org/wp-content/uploads/2018/11/ACIS2018_paper_200.pdf.
[31] ***Jabar, M.A.*** General Domain Ontology in Enterprise Software Development Process / M.A. Jabar, M.S. Khalefa // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. - Vol. 8, Is. 3S. - P.398-402.
[32] ***Happel, H.J.*** KOntoR: An Ontology-enabled Approach to Software Reuse / H.J. Happel, A. Korthaus, S. Seedorf, P. Tomczyk // Proc. SEKE 2006: the 18th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (July 5-7, 2006, California, USA, 2006). - P.349-354.
[33] ***Chaves, A.P.*** OntoDiSENv1: an Ontology to Support Global Software Development / A.P. Chaves, I. Steinmacher // CLEIej 2011. - Vol.14, No.2. – http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-50002011000200002.
[34] ***Würsch, M.*** SEON: A pyramid of ontologies for software evolution and its applications / M. Würsch, G. Ghezzi, M. Hert, G. Reif, H. Gall // Computing. - 2012. - 94(11). - P.857-885.
[35] ***Aßmann, U.*** Ontology-Guided Software Engineering in the MOST Workbench / U. Aßmann, S. Zivkovic, K. Miksa, K. Siegemund, A. Bartho, T. Rahmani, E. Thomas, J.Z. Pan // In: Ontology-Driven Software Development. - Springer Berlin Heidelberg, 2013. - P.293-318.
[36] ***Bhatia, M.P.S.*** An ontology based framework for automatic detection and updation of requirement specifications / M.P.S. Bhatia, R. Beniwal, A. Kumar // International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I (2014 Nov 27). – IEEE, 2014 - P.238-242.
[37] ***Olszewska, J.I.*** ODYSSEY: Software Development Life Cycle Ontology / J.I. Olszewska, I.K. Allison // Proc. International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management (Seville, Spain 18 Sep 2018-20 Sep 2018). - P.303-311.
[38] ***Rochaa, R.*** DKDOnto: An Ontology to Support Software Development with Distributed Teams / R. Rochaa, A. Ara´ujoa, D. Cordeiroa, A. Ximenesa, J. Teixeiraa, G. Silvaa, D. da Silvaa, D. Espinharaa, R. Fernandesa, J. Ambrosiob, M. Duartec, R. Azevedo // Proc. 22nd International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems. - Procedia Computer Science 126, 2018. - P.373-382.
[39] ***Alobaid, A.*** Automating ontology engineering support activities with OnToology / A. Alobaid, D. Garijo, M. Poveda-Villalón, I. Santana-Perez, A. Fernandez-Izquierdo, O. Corcho // Journal of Web Semantics 57, 100472, 2019. – https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3260516.
[40] ***Alsanad, A.A.*** Domain Ontology for Software Requirements Change Management in Global Software Development Environment / A.A. Alsanad, A. Chikh, A Mirzaa // IEEE Access. - 2019. - Vol. 7. - P.349-353.
[41] ***Calero, C.*** Ontologies for Software Engineering and Software Technology. 1st Ed. / C. Calero, F. Ruiz, M. Piattini. - Springer, 2006. - 340 p.
[42] ***Anquetil, N.*** Software Maintenance seen as a Knowledge Management Issue / N. Anquetil, K.M. de Oliveira, D. Kleiber, M.G. de Sousa // Inf. Softw. Technol. - 2007. - 49(5). - P.515-529.
[43] ***Fairley, R.E.*** A Post-Mortem Analysis of the Software Engineering Programs at Wang Institute of Graduate Studies / R.E. Fairley // Issues in Software Engineering Education. Eds.: Fairley R., Freeman P. -Springer, New York, 1989. – 97 p.
[44] ISO/IEC 14764:2006 Software Engineering - Software Life Cycle Processes – Maintenance. – https://www.iso.org/standard/39064.html.
[45] ***Leppanen, M.*** A context-based enterprise ontology / M. Leppanen // Proc. of the 10th international conference on Business information systems, BIS'07. - Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2007. - P. 273–286.
[46] Project MOST Marrying Ontology and Software Technology. 2011. – https://cordis.europa.eu/project/rcn/85351/factsheet/en.

[47] ***Tudorache, T.*** WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web / T. Tudorache, C. Nyulas, N.F.Noy, M.A. Musen // Semantic Web Journal. – 2013. - Vol. 4, No 1. - P.89-99.
[48] ***Musen, M.A.*** The protégé project: a look back and a look forward / M.A. Musen // Newsletter AI Matters. – 2015. - Vol. 1, Issue 4. - P.4-12.
[49] ***Шалфеева, Е.А.*** Возможности использования онтологий при разработке и сопровождении программных систем / Е.А. Шалфеева // Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2011. - 16 с.
[50] ***Лаврищева, Е.М.*** Подход к формальному представлению онтологии жизненного цикла программных систем / Е.М. Лаврищева // Весник КГУ. Серия физ.-мат. наук. - 2013. - № 4. - С.140-149.
[51] ***Стенников, В.А.*** Применение онтологий при реализации концепции модельно-управляемой разработки программного обеспечения для проектирования теплоснабжающих систем / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Д.В. Соколов // Онтология проектирования. – 2014. - 4(14). - С.54-68.
[52] ***Пустовалова, Н.В.*** Построение согласованной модели требований для процесса программной инженерии / Н.В. Пустовалова, Т.В. Авдеенко // Труды СПИИРАН. – 2016. - Выпуск 44. - С.31-49.
[53] ***Бармина, О.В.*** Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях / О.В. Бармина, Н.О. Никулина // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). - С.48-65. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.
[54] ***Смирнов, С.В.*** Опыт создания средств семантического моделирования и проектирования на массовой программной платформе // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems, OSTIS-2015: Материалы V международ. науч.-тех. конф. (19-21 февраля 2015 г. Минск, Беларусь) / Отв. ред.: В.В. Голенков. – Минск: БГУИР, 2015. – С.413-416.
[55] ***Тарасов, А.Ф***. Онтологический подход к построению логических моделей программных систем / А.Ф. Тарасов, О.А. Лябик // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2006. - №1Е(6). - С.50-54.
[56] ***Sidorov, N.*** Ontology driven tool for utilizing programming styles / N. Sidorov, N. Sidorova, A. Pirog // Proc/ of the National Aviation University. - 2017. - 2(71). - P.84-92.
[57] ***Hovorushchenko, T.*** Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle / T. Hovorushchenko, O. Pavlova // Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2019. - Vol. 836. - P.169-178.
[58] ***Efimenko, I.V.*** Identification of Promising High-Tech Solutions in Big Text Data with Semantic Technologies: Energy, Pharma, and Many Others (Chapter 16. Advanced Methods) / I.V. Efimenko, V.F. Khoroshevsky // In: Innovation Discovery. Network Analysis of Research and Invention Activity for Technology Management. / Eds: T. Daim, A. Pilkington. 443 p. - 2018. – P.429–467.
[59] ***Хорошевский, В.Ф.*** Генерация лингвистических процессоров для платформы GATE под управлением онтологий / В.Ф. Хорошевский, А.С. Булгаков, А.В. Демин // В сб.: Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018. / Труды конференции: в 2-х томах. 2018. - С.288-296.

ONTOLOGY DRIVEN SOFTWARE ENGINEERING: MODELS, METHODS, IMPLEMENTATIONS

V.F. Khoroshevsky

Dorodnicyn Computing Centre of Russian Academy of Sciences,
Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
V.Khor@mail.ru

Abstract

Ontology-driven software engineering is the scope of the paper. A retrospective analysis of the approaches, models and methods is carried out. In the first section, a brief overview of "classical" technologies, approaches and methods for software engineering is presented. It is shown that the emphasis of research and development is currently shifting from the field of technologies of programming towards the modeling of the software design processes, as well as towards the specifications and testing of the developed systems. It is outlined that the general trend in the domain is the use of methods and tools of ontology modeling of both the design processes per se and the specifications of the developed systems. The second section is devoted to a review of publications in the field of ontology-based software engineering.

Such paradigms for modeling software development processes as Software Product Lines, plug-and-play software development - Component-Based Development, model-driven software engineering - Model-Driven Engineering, etc. are discussed. It is shown that "programming through generation", i.e. Generative Programming, is a general approach supporting the considered paradigms. It is shown that R&D in the domain of the semantic models of software engineering is currently focused on a new approach - Ontology-Based (-Driven) Software Engineering. Within the framework of this area, ontology engineering tools are developed along with modeling the software development processes. The scientific and technical perspectives of ontology driven software engineering are specified and discussed in the final part of the paper. In particular, it is outlined that the theoretical foundations of ontology-based modeling of software design processes form the solid basis for shifting the focus from the models of compiling the modules to their pattern-based generation from internal specifications. It is noted that the next trend in the field of OBSE-ODSE will be the usage of machine learning methods and tools to generate ontological models of software design.

Key words: *software engineering, software product lines paradigm, component-based development, model-driven engineering, generative programming, ontology modeling, ontology-driven software engineering, system of ontologies of designing, ontology-driven applied system.*

Citation: *Khoroshevsky VF.* Ontology Driven Software Engineering: Models, Methods, Implementations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 429-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.

References

[1] ***Lipaev VV.*** Complex Custom Software Products Design and Manufacture [In Russian]. – Moscow: SINTEG publ.; 2011.

[2] ***Bhuvaneswari T., Prabaharan S.*** A Survey on Software Development Life Cycle Models. International Journal of Computer Science and Mobile Computing 2013; 2(5): 262-267.

[3] ***Half R.*** Basic SDLC Methodologies: Which One is Best? – https://www.roberthalf.com/blog/salaries-and-skills/6-basic-sdlc-methodologies-which-one-is-best.

[4] ***Winston WR.*** Managing the Development of Large Software Systems. Proceedings, IEEE WESCON 1970: 1-9.

[5] ***Boehm B.*** A Spiral Model of Software Development and Enhancement. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes 1986; 11(4): 14-24.

[6] ***Beck K.*** Extreme Programming Explained: Embrace Change. - Addison-Wesley; 1999.

[7] ***Beck K, Beedle M, van Bennekum A, Cockburn A, Cunningham W, Fowler M, Grenning J, Highsmith J, Hunt A, Jeffries R, Kern J, Marick B, Martin RC, Mellor S, Schwaber K, Sutherland J, Thomas D.*** Manifesto for Agile Software Development. Agile Alliance 2001. – https://agilemanifesto.org/.

[8] ***Jacobson S.*** The Rational Objectory Process - A UML-based Software Engineering Process. Rational Software Scandinavia AB 2014.

[9] ***Henderson-Sellers B, Gonzalez-Perez C, McBride T, Low G.*** An ontology for ISO software engineering standards: 1) Creating the infrastructure. Computer Standards & Interfaces 2014; 31, 36(3): 563-576.

[10] ISO/IEC/IEEE 12207:2017 Systems and software engineering – Software life cycle processes. – URL: https://www.iso.org/standard/63712.html (access date 04.10.2019).

[11] ***Asikainen T, Männistö T, Soininen T.*** A domain ontology for modelling variability in software product families. Adv. Eng. Inform. 2007; 21: 23-40.

[12] ***Strmečki D, Magdalenić I, Kermek D.*** An Overview on the use of Ontologies in Software Engineering. Journal of Computer Science 2016; 12(12): 597-610.

[13] ***Ringert JO, Rumpe B, Wortmann A.*** Multiplatform generative development of component and connector systems using model and code libraries. Proc. of the 1st International Workshop on Model-Driven Engineering for Component-Based Systems, CBS' 14 (Valencia, Spain, 2014): 26-35.

[14] ***Magdalenić I, Radošević D, Orehovački T.*** Autogenerator: Generation and execution of programming code on demand. Expert Syst. Applic. 2013; 40: 2845-2857.

[15] ***Lilis Y, Savidis A, Valsamakis Y.*** Staged model-driven generators: Shifting responsibility for code emission to embedded metaprograms. Proc. of the 2nd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (Jan. 7-9, 2014). - IEEE Xplore Press, 2014: 509-521.

[16] ***Rodrigues da Silva A.*** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. Comput. Lang. Syst. Struct. 2015; 43: 139-155.

[17] ***Hesse W.*** Ontologies in the Software Engineering process. Proc. of the 2nd GI-Workshop on Enterprise Application Integration, EAI-0 (Marburg, Germany, June 30 / July 1st, 2005). – https://pdfs.semanticscholar.org/7812/c8ac3e35a78d35c1df93f09108c69884e7f1.pdf.

[18] ***Dillon TS, Chang E, Wongthongtham P.*** Ontology-based Software Engineering - Software Engineering 2.0. Proc. 19th Australian Conference on Software Engineering, 2008: 13-23.
[19] ***Henderson-Sellers B.*** Bridging metamodels and ontologies in software engineering. Journal of Systems and Software 2011; 84(2): 301-313.
[20] ***Isotani S, Bittencourt II, Barbosa EF, Dermeval D., Paiva ROA.*** Ontology Driven Software Engineering: A Review of Challenges and Opportunities. IEEE Latin America Transactions 2015; 13(3): 863-869.
[21] ***Bhatia MPS, Kumar A, Beniwal R.*** Ontologies for Software Engineering: Past, Present and Future. Indian Journal of Science and Technology 2016; 9(9): 8-17.
[22] ***Borgest NM.*** The Boundaries of Ontology of Designing [In Russian]. Ontology of Designing 2017; Vol. 7, 1(23): 7-33. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
[23] ***Fadel FG, Fox MS, Gruninger M.*** A generic enterprise resource ontology. Proc. of 3rd IEEE Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WET ICE'94 (April 1994, Morgantown, West Virginia), 1994: 117–128.
[24] ***Uschold M, King M, Moralee S, Zorgios Y.*** The Enterprise Ontology. The Knowledge Engineer Review 1998; 13(1): 31-89.
[25] ***Mendes O, Abran A.*** Software engineering ontology: A development methodology. Metrics News 2005; 9: 68-76.
[26] ***Happel H, Seedorf S.*** Applications of ontologies in software engineering. Proc. of the 2nd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering, ESE' 06. 2006: 1-14.
[27] ***Bossche MV, Ross P, MacLarty I, van Nuffelen B, Pelov N.*** Ontology Driven Software Engineering for Real Life Applications. Proc. 3rd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering, SWESE 2007 (Innsbruck, Austria, 2007). – https://www.odaseontologies.com/wp-content/uploads/2016/03/Ontology-Driven-Software-Engineering-for-Real-Life-Applications-OK.pdf.
[28] ***Nianfang X, Xiaohui Y, Xinke L.*** Software components description based on ontology. Proc. of the 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation (Jan. 22-24, 2010). - IEEE XPlore Press; 2010: 423-426.
[29] ***Liao L, Qu Y, Leung HKN.*** Software Process Ontology and Its Application. Studies on the Semantic Web. Vol. 17: Semantic Web Enabled Software Engineering. - IOS Press; 2014: 207-217.
[30] ***Pileggi SF, Lopez-Lorca A, Beydoun G.*** Ontology in Software Engineering. Proc. Australasian Conference on Information Systems 2018 (Sydney, Australia, 2018). – http://www.acis2018.org/wp-content/uploads/2018/11/ACIS2018_paper_200.pdf.
[31] ***Jabar MA, Khalefa MS.*** General Domain Ontology in Enterprise Software Development Process. International Journal of Engineering and Advanced Technology 2019; Vol. 8, Is. 3S: 398-402.
[32] ***Happel HJ, Korthaus A, Seedorf S, Tomczyk P.*** KOntoR: An Ontology-enabled Approach to Software Reuse. Proc. SEKE 2006: the 18th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (July 5-7, 2006, California, USA, 2006): 349-354.
[33] ***Chaves AP, Steinmacher I.*** OntoDiSENv1: an Ontology to Support Global Software Development. CLEIej 2011; Vol. 14, No.2. – http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-50002011000200002.
[34] ***Würsch M, Ghezzi G, Hert M, Reif G, Gall H.*** SEON: A pyramid of ontologies for software evolution and its applications // Computing 2012; 94(11): 857-885.
[35] ***Aßmann U, Zivkovic S, Miksa K, Siegemund K, Bartho A, Rahmani T, Thomas E, Pan JZ.*** Ontology-Guided Software Engineering in the MOST Workbench // In: Ontology-Driven Software Development. - Springer Berlin Heidelberg; 2013: 293-318.
[36] ***Bhatia MPS, Beniwal R, Kumar A.*** An ontology based framework for automatic detection and updation of requirement specifications. International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I (2014 Nov 27). – IEEE; 2014: 238-242.
[37] ***Olszewska JI, Allison IK.*** ODYSSEY: Software Development Life Cycle Ontology. Proc. International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management (Seville, Spain 18 Sep 2018-20 Sep 2018). - P.303-311.
[38] ***Rochaa R., Ara´ujoa A, Cordeiroa D, Ximenesa A, Teixeiraa J, Silvaa G, da Silvaa D, Espinharaa D, Fernandesa R, Ambrosiob J, Duartec M, Azevedo R.*** DKDOnto: An Ontology to Support Software Development with Distributed Teams. Proc. 22nd International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems. - Procedia Computer Science 126; 2018: 373-382.
[39] ***Alobaid A, Garijo D, Poveda-Villalón M, Santana-Perez I, Fernandez-Izquierdo A, Corcho O.*** Automating ontology engineering support activities with OnToology. Journal of Web Semantics 57, 100472; 2019. – URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3260516 (access date 01.10.2019).
[40] ***Alsanad AA, Chikh A, Mirzaa A.*** Domain Ontology for Software Requirements Change Management in Global Software Development Environment. IEEE Access 2019; Vol.7: 349-353.
[41] ***Calero C, Ruiz F, Piattini M.*** Ontologies for Software Engineering and Software Technology. 1st Ed. – Springer; 2006.

[42] ***Anquetil N, de Oliveira KM, Kleiber D, de Sousa MG.*** Software Maintenance seen as a Knowledge Management Issue. Inf. Softw. Technol. 2007; 49(5): 515-529.
[43] ***Fairley RE.*** A Post-Mortem Analysis of the Software Engineering Programs at Wang Institute of Graduate Studies. Issues in Software Engineering Education. Eds.: Fairley R., Freeman P. - Springer, New York, 1989.
[44] ISO/IEC 14764:2006 Software Engineering - Software Life Cycle Processes – Maintenance. – https://www.iso.org/standard/39064.html.
[45] ***Leppanen M.*** A context-based enterprise ontology // Proc. of the 10th international conference on Business information systems, BIS'07. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg; 2007: 273–286.
[46] Project MOST. Marrying Ontology and Software Technology., 2011. - https://cordis.europa.eu/project/rcn/85351/factsheet/en.
[47] ***Tudorache T, Nyulas C, Noy NF, Musen MA.*** WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web. Semantic Web Journal 2013; 4(1): 89-99.
[48] ***Musen MA.*** The protégé project: a look back and a look forward. Newsletter AI Matters 2015; 1(4): 4-12.
[49] ***Shalfeeva EA.*** Possibilities of Using Ontologies in the Development and Maintenance of Software Systems [In Russian]. Vladivostok, IAPU DVO RAS; 2011.
[50] ***Lavrishcheva EM.*** The Approach to the Formal Representation of the Ontology of the Software Systems Life Cycle [In Russian]. Vestnik KGU 2013; 4: 140-149.
[51] ***Stennikov VA.*** The use of ontologies in the implementation of the concept of model-driven development of software for the design of heat supply systems [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2014; 4(14): 54-68.
[52] ***Pustovalova NV, Avdeenko TV.*** Building a Consistent Requirement Model for a Software Engineering Process [In Russian]. Proc. of SPII RAS 2016, 44: 31-49.
[53] ***Barmina OV, Nikulina NO.*** Intelligent system for interactive business processes management in project-oriented organizations [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2017; 7(1): 48-65. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.
[54] ***Smirnov SV.*** The experience of semantic modeling and designing tools on widely used platform [In Russian]. Proc. of the V International Scientific Conf. on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems OSTIS-2015 (February 19-21, 2015 Minsk, Belarus). Eds.: VV Golenkov and al. - Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2015: 413-416.
[55] ***Tarasov AF, Lyabik OA.*** Ontological approach to the construction of logical models of software systems [In Russian]. Vestnik Donbass Derjavnoi Mashinobudivnoi Academii. 2006; 1E(6): 50-54.
[56] ***Sidorov N, Sidorova N, Pirog A.*** Ontology driven tool for utilizing programming styles. Proc. of the National Aviation University 2017; 2(71): 84-92.
[57] ***Hovorushchenko T, Pavlova O.*** Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. Advances in Intelligent Systems and Computing 2019; 836: 169-178.
[58] ***Efimenko IV, Khoroshevsky VF.*** Identification of Promising High-Tech Solutions in Big Text Data with Semantic Technologies: Energy, Pharma, and Many Others (Chapter 16. Advanced Methods). In: Innovation Discovery. Network Analysis of Research and Invention Activity for Technology Management. Eds: T. Daim, A. Pilkington. 443 p. 2018: 429–467.
[59] ***Khoroshevsky VF, Bulgakov AS, Demin AV.*** Ontology-Driven Generation of Linguistic Processors for the GATE Platform [In Russian]. Proc. of 16th National Conference on Artificial Intelligence, CAI-2018. 2018: 288-296.

Сведения об авторе

Хорошевский Владимир Федорович, 1946 г. рождения. Окончил Московский инженерно-физический институт по специальности «Прикладная математика» в 1971 г., к.т.н. (1976), д.т.н. (1995). Профессор кафедры «Интеллектуальные системы» Московского физико-технического института. Один из основателей советской, затем Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). Член Научного Совета РАИИ. Член редколлегий научных журналов «Искусственный интеллект и принятие решений», «Программные продукты и системы». В списке научных трудов более 130 публикаций в области ИИ (5 монографий, учебных пособий и учебников для ВУЗов).

Vladimir Fedorovich Khoroshevsky (b. 1946) graduated from Moscow Physical-Engineering Institute in 1971, PhD (1976), DrSc (1995). Hi is Professor at Moscow Institute of Physics and Technology (Department of Intelligent Systems). One of the founders of the Soviet, then Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI), RAAI Scientific Council member. Member of the editorial boards of scientific journals "Artificial Intelligence and Decision Making", "Software Products and Systems". The list of scientific papers contains more than 130 publications in the AI domain (5 monographs and textbooks).

УДК 004.82

ОНТОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ

В.В. Грибова[1], Е.А. Шалфеева[2]

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия
[1] *gribova@iacp.dvo.ru,* [2] *shalf@dvo.ru*

Аннотация

Диагностика в предметных областях, где внутри систем или объектов процессы протекают во времени, изменяясь и влияя на другие процессы и характеристики, сложна. Для повышения эффективности диагностики разработано большое количество систем, основанных на знаниях. Но в их моделях знаний не учитываются одновременно все виды темпоральных отношений: изменение значений признаков с течением времени, учёт промежутков времени, прошедших от моментов начала развития процесса и внешних воздействий и др. В статье рассматривается универсальная онтология знаний о диагностике процессов в различных предметных областях. Онтология позволяет формализовать аномалии как развивающиеся внутренние процессы, не присущие нормально функционирующей системе. Для построения таковой потребовалось определить некоторые понятия и отношения, которые являются особенностью таких предметных областей. Статья может быть полезна для разработчиков диагностических систем и для специалистов в области теории и практики применения онтологий.

Ключевые слова: *онтология предметной области, онтология проблемной области, диагноз, диагностика, признак, гипотеза, процесс.*

Цитирование: *Грибова, В.В.* Онтология диагностики процессов / В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4(34). - С. 449-461. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-449-461.

Введение

Во многих областях интеллектуальной деятельности, касающихся безопасности, здоровья, эффективности технологических производств, частью процесса управления (в том числе «управления» здоровьем людей) является диагностика отклонений от желательного развития или состояния объекта/системы.

Под *диагностикой* понимается распознавание внутреннего процесса, который не присущ диагностируемому объекту при нормальном его функционировании (как, например, заболевание). Будем называть *диагнозом* сам диагностируемый внутренний процесс (один *класс отклонений от нормы*) или множество внутренних процессов, не *присущих системе в норме.* Нередко под диагностикой понимается не только распознавание (класса) отклонения параметров функционирующей системы от нормативных, но и выявление причин, приведших к возникновению этих отклонений в системе.

В некоторых предметных областях (ПрО) сложность диагностики связана с тем, что системы или объекты обладают, кроме типовых параметров, индивидуальными особенностями, а условиями протекающих процессов внутри различных систем или объектов могут быть и события, происходящие в различные моменты времени, и внешние факторы. В ряде ПрО задачи диагностики решаются относительно систем или объектов, у которых процессы, в том числе с отклонениями, протекают во времени, продолжая изменяться и влиять на другие процессы и характеристики. Поэтому могут учитываться:

- интервал времени, прошедший с момента начала развития диагностируемого внутреннего процесса (не присущего объекту/системе);

- влияние событий и факторов на значения признаков и их изменение во времени;
- влияние индивидуальных характеристик объекта (системы) на проявления этого внутреннего процесса;
- степень доверия к признаку (нечёткость признака).

Диагностика в таких ПрО сложна. Для повышения её эффективности используют технологию *систем, основанных на знаниях* - систем поддержки принятия решений (СППР) и экспертных систем (ЭС), - как средств, позволяющих принять во внимание значительное количество диагностических признаков и минимизировать ошибки, связанные с субъективными (человеческими) факторами. К настоящему времени разработано большое количество диагностических СППР и ЭС в различных ПрО: диагностика неисправностей в механических и электрических устройствах, медицинская диагностика, идентификация состояния сельскохозяйственных культур, диагностика заболеваний в ветеринарной эпидемиологии и др.

Различаются цели диагностических программных систем (ЭС или СППР). Некоторые ориентированы на выдвижение множества полезных гипотез, некоторые - на выдвижение одной наиболее вероятной гипотезы, а в некоторых диагностических ЭС используется принцип построения, основанный на конструктивной критике, выдвинутой пользователем гипотезы. Наиболее распространены программные системы, которые поддерживают задачу диагностики, предлагая специалисту множество полезных гипотез (которое далее должно быть уменьшено).

Для применения на практике от СППР требуются «прозрачность» для специалистов как используемых знаний, так и процесса рассуждения системы с объяснением результатов диагностики. Завоевавший популярность онтологический подход [1-3] позволяет создавать понятные специалистам базы знаний (БЗ) и формировать объяснение процесса работы в привычных профессиональных терминах.

Поскольку трудоёмкость создания «практически полезных» программных систем велика, нужны эффективные технологии снижения затрат. В работах [4, 5] выдвинуто утверждение, что в интеллектуальных системах можно выделить классы задач и для каждого класса разработать метод решения задачи, который будет повторно использоваться в различных системах. Построение универсального решателя диагностики, работающего в терминах универсальной единой онтологии, можно рассматривать как создание ядра эффективной технологии снижения затрат. Такой решатель должен проводить анализ всех типичных видов связей сущностей, важных для диагностики.

В известных онтологиях диагностики не учитываются одновременно все виды отношений вместе с «временной картиной» (изменение значений признаков с течением времени, учёт промежутков времени, прошедших от моментов начала развития процесса и внешних воздействий), поэтому целью работы является представление универсальной онтологии и демонстрация её возможностей на двух ПрО.

1 Постановка задачи

Для произвольной ПрО, где важно нормальное функционирование объектов/систем (биологических или технических), сопоставим внутреннему *процессу*, который не присущ диагностируемому объекту при нормальном его функционировании, понятие *отклонение от нормы* (или *нарушение, поломка, неисправность, сбой, класс отклонений, диагноз*).

В данной работе используется термин *диагноз* как множество *отклонений* (например, заболеваний); *признаками* называются любые свойства объекта/системы, измеряемые или наблюдаемые параметры, значения которых могут отличаться от нормальных (допустимых).

Признаки объекта, изменяющиеся с течением времени (в том числе на протяжении периода диагностики), называются *темпоральными* или *динамическими*.

При решении задач диагностики применяются модели знаний разной сложности:

- с учётом временн***о***й динамики (какие диапазоны значений в какие моменты или периоды ожидаются) или с учётом «временн*о*го аспекта» (например, температура снизилась; вибрация усиливается) или без таковых;
- с учётом или без учёта влияния факторов на динамику значений признаков (проявлений);
- с учётом возможности существования нескольких видов отклонений от нормы (т.е. *диагноз* есть множество отклонений, например: нескольких заболеваний сразу - «сочетанной патологии» в медицине, загрязнение контактов и обрыв контактов) или с расчётом на то, что объект имеет только одну проблему;
- с учётом разных методов диагностики;
- с группированием схожих отклонений от нормы или выделением подклассов отклонений (уточнением диагнозов).

Соответственно, в БЗ вносят причинные связи:

- отношения между внешними проявлениями и их причинами – диагнозами (нарушениями/отклонениями от нормы);
- отношения между событиями (или факторами) и (вызванными) диагнозами;
- цепочки ⟨нарушения-диагнозы → внутренние состояния⟩ (примером внутренних состояний являются клинические и патофизиологические состояния живых организмов [6]) и ⟨состояния → проявления (значения измеримых параметров)⟩.

В некоторых случаях для диагностики могут представлять интерес и более простые связи: ⟨причинный фактор → внешнее проявление⟩ (например, разрыв контакта – погасшая лампочка).

Иногда для проявлений и диагнозов в БЗ вводят *временн**ы**е* свойства (а также для их взаимозависимостей - согласования протяжённости, задержки и т.п.). Характерны такие *временн**ы**е ограничения* и *временн**ы**е* свойства (проявлений и причин), как: диапазон времени до начала эффекта наблюдаемости (*Onset*), диапазон времени, когда эффект останется, если причина прекратится (*Persist*), максимальное время присутствия причины (*Max-exist*), задержка (*Delay*), самоограничение (*Self-limiting*), неустойчивость (*Intermittent*) – см. рисунок 1а [7].

Нередко представляют пошаговое развитие каждого проявления признака, соответствующего одному известному *отклонению*, с определённым времен***ы***м шагом (отрезок разбивается на N равных интервалов) – см. рисунок 1б [8]. Часто вводят *временн**ы**е ограничения* для попарно не пересекающихся интервалов, позволяющие определить *разрешённую дистанцию* между соответствующими *моментами времени,* используя выражения метрической точечной временн**о**й логики [8].

Чтобы «в полной мере» представлять динамику проявлений и состояний в БЗ (так, чтобы рассматривать варианты поэтапных изменений значений признаков), используют разные упрощения. Например, составляют *временн**ы**е шаблоны* для последовательностей ожидаемых значений *параметра состояния,* интерпретируемые как более компактные последовательности (рисунок 1в) или *«совокупные» узлы* с *качественным описанием* (например, *hyponatremia, hyperonatremia*), *временн**ы**е «скопления» для* описания *процесса* как единого понятия [6].

Иногда вводят «интервалы постоянства значений признаков на некоторых характерных интервалах» [9], превращая один динамический признак в несколько «постоянных» признаков (со средним значением). Например, анализ значения признака билирубина первых двух дней усреднены в первый диагностический признак, а значение второго признака берётся как

усреднённое значение тех измерений билирубина, что сделаны в дни с 3-й по 7-й [10]. Другой вариант - один и тот же признак, определённый в два разных дня, понимается как два абсолютно разных и независимых признака (билирубин *в первый день* – это один диагностический признак, билирубин *во второй день…*, билирубин *в пятый день* – также новые признаки и т.д.) [9].

Иногда вводятся интервалы, представляющие устойчивые состояния, где уже нет изменения ни в одном из параметров [11]. На рисунке 1г показан пример множества соотношений между установившимися интервалами.

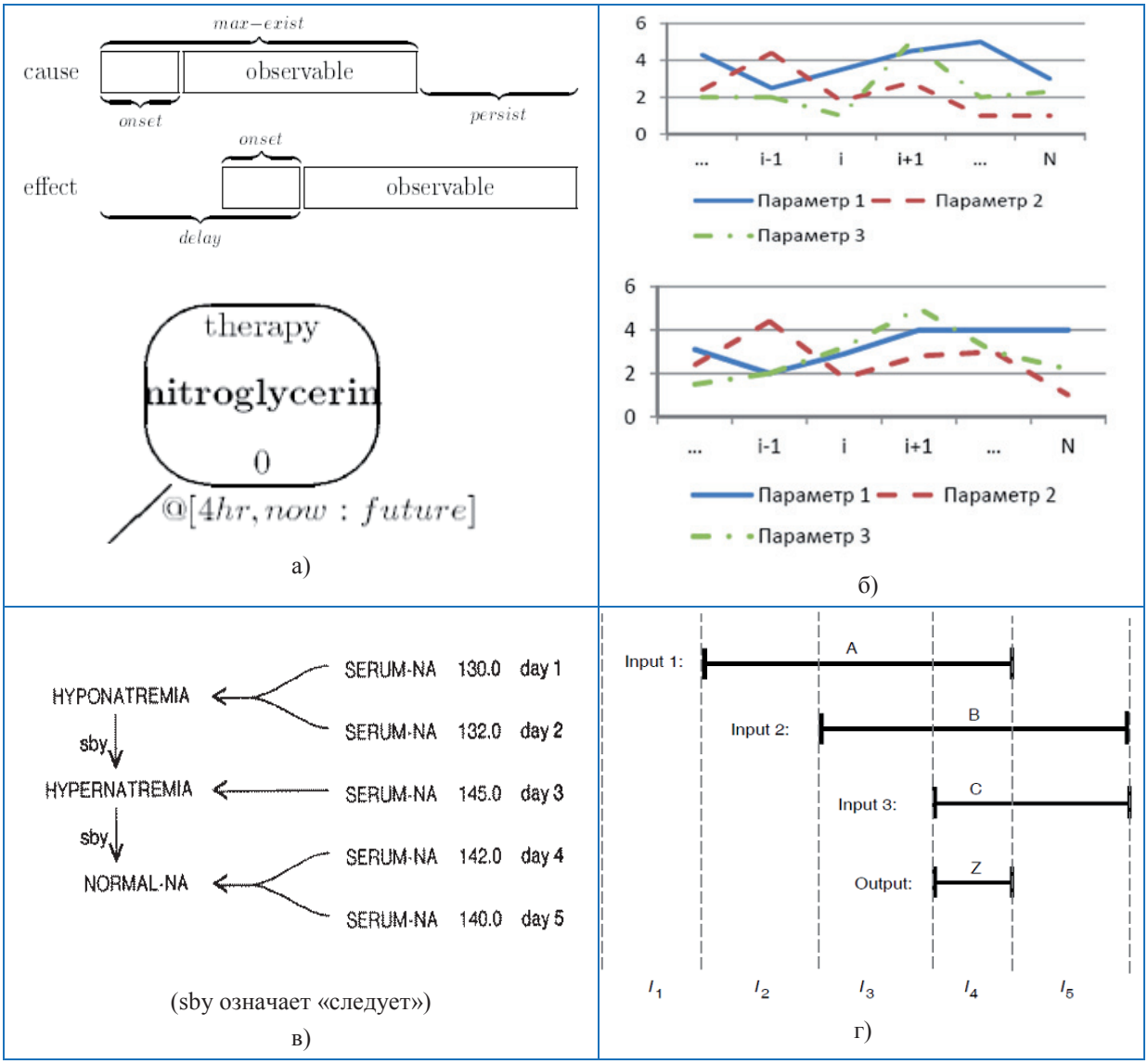


Рисунок 1 – Способы упрощения представления динамики проявлений

Часто динамику учитывают на «качественном уровне», а не в виде последовательностей; с использованием параметров для описания симптомов *(«периодически», «усиление»* и т.п.), из них формируются симптомы: «усиление головной боли при движении», «периодически отмечался слабо выраженный абдоминальный болевой синдром» [12, 13].

В *причинных связях* учитываются различные аспекты причины (серьёзность, продолжительность и т.д.) [6], вводятся элементы нечёткой логики [14], факторы уверенности [15] или

модальность как степень доверия к признаку. К причине добавляют *факторы* (возраст, вес и т.д.). В БЗ может быть заложена возможность учёта реакции на воздействие событий или факторов («реакция на определённое терапевтическое действие станет ключом к разгадке диагноза» [6]).

Помимо причинных отношений в БЗ могут быть представлены *ассоциативные* (коррелирующие) *связи*, когда присутствие одного признака влияет на ожидание о присутствии или отсутствии другого (причина корреляции или ассоциации не определена), и *группирующие связи* (присутствие нескольких проявлений одновременно представляет ситуацию шаблонного «синдрома») [6].

Введём обозначения:

- $R_{ex}(t_0,..., t_k)$ для признаков, значения которых могут изменяться;
- R_O для наблюдаемых индивидуальных характеристик объекта/системы;
- $R_{ev}(t_u,..., t_v)$ для факторов и событий, наблюдаемых в некоторые моменты времени.

Пусть F_{in} – множество отклонений от нормы. Тогда в зависимости от цели диагностики (в конкретных ЭС или СППР) диагноз есть $\Delta = f_{in}$ - одна наиболее вероятная гипотеза о классе отклонений - или множество полезных гипотез (которое в последующем должно быть уменьшено) $\Delta = \{f_{in}\}, f_{in} \subseteq F_{in}$.

Постановка задачи диагностики с использованием модели знаний, обобщающей разные традиции учёта времени наблюдений и динамики развития процессов и признаков, такова.

Дано:

- результаты наблюдения признаков, характеристик объекта и произошедших событий на некотором интервале времени: $R = R_{ex}(t_0,..., t_k) + R_O + R_{ev}(t_u,..., t_v)$;
- база знаний.

Найти:

- все возможные причинно-следственные модели $S(\Delta, R)$ объекта/системы, относительно которых все предложения из БЗ истинны.

Причинно-следственные модели *S(Δ, R)* объекта связывают результаты наблюдений R и диагностированные отклонения Δ. S - объяснение решения, степень подробности которого зависит от *онтологии проблемной области*. В диагностических методиках отмечается поиск объяснения *наблюдений* (в ненормальном состоянии) и реконструкция вероятного «сценария», который произвел наблюдаемое *состояние*, чтобы «сценарий» последовательно объяснил наблюдения [7].

Онтология проблемной области состоит из терминологии и множества утверждений, определяющих соглашения проблемной области (или типы отношений терминов и ограничения на их интерпретацию). *Онтология проблемной области «диагностика процессов»* учитывает и позволяет описывать в единых диагностических терминах знания о:

- развитии произвольного внутреннего процесса объекта/системы и изменчивости внешних его проявлений;
- влиянии событий и факторов на значения признаков и их изменение во времени;
- влиянии индивидуальных характеристик объекта/системы на вариант развития произвольного внутреннего процесса (и значения признаков);
- промежутке времени, прошедшем с момента начала диагностируемого внутреннего процесса;
- мерах нечёткости признака диагностируемого процесса (необязательность проявления признака или степень доверия к признаку, неточность или недоопределённость значений, неоднозначность или нечёткость границы между интервальными значениями признака).

От онтологии проблемной области «диагностика процессов» ожидается универсальность, позволяющая наследовать из неё всем предметно-ориентированным онтологиям.

2 Обобщённая онтология проблемной области «Диагностика процессов»

Рассмотрим типы утверждений, устанавливающих соответствие между значениями причин и значениями следствий в причинных закономерностях, используемых при диагностике для объектов/систем разных ПрО.

В качестве причины понимают «диагноз» - возникший в системе или объекте внутренний процесс, который развивается во времени. В качестве следствий (отношений) рассматриваются признаки (с их значениями), проявляемые объектом диагностики. При этом в значениях следствий ожидается изменчивость внешних проявлений этого внутреннего процесса (объекта/системы).

Один внутренний процесс (причина) вызывает несколько внешних проявлений (значений следствий), объединяемых в *комплекс диагностических признаков* (КДП); но он может вызывать разные совокупности таких проявлений – альтернативные КДП. Например, разрушение инерциальной навигационной системы автономного подводного робота (АПР) может характеризоваться следующими альтернативными признаками: активным маневрированием со стороны движительно-рулевого комплекса (ДРК), повышенным энергопотреблением со стороны ДРК, перегрузкой и отключением батарейного модуля, остановкой двигателя [16].

Типы значений проявляемых признаков могут быть числовыми или качественными. По мере развития (во времени) процесса проявления признаков изменяются в рамках своих областей значений.

Значения признаков в рассматриваемые моменты или периоды могут быть точными числами или попадать в характерные числовые диапазоны, быть значениями из чётко определяемой качественной шкалы (сухой, влажный) или нечётко различаемой (розоватый, красноватый; повышенное энергопотребление), отражающей термины конкретных экспертов. Признаки могут быть простыми, состоящими из имени признака и множества его значений (например, температура), или составными.

Для указания меры нечёткости признака (диагностируемого процесса) используются:

- *модальность,* значения которой достаточны для рекомендаций по подтверждению или опровержению гипотезы, например: необходимо, характерно, возможно;
- *шкала вероятностей* соответствия признаков гипотезе о диагнозе, которая может быть использована, если эксперты ПрО имеют соглашении о том, какие её значения целесообразно использовать при принятии решений.

Интервал времени, прошедший с момента начала диагностируемого внутреннего процесса, используется явно в причинных закономерностях при учёте события или фактора (если событие должно быть известно в анализируемой ситуации). В других случаях чаще моментом начала диагностируемого процесса считают первое проявление.

В условиях причинно-следственных отношений могут присутствовать внешние факторы или события, относящиеся к различным моментам времени, а также постоянные во времени признаки объекта диагностики, иногда называемые индивидуальными характеристиками.

Например, при диагностике состояния сельскохозяйственных культур в качестве условия может выступать время, прошедшее после обработки растений пестицидами и гербицидами, климатические особенности региона выращивания; при диагностике некоторого заболевания - перенесённые травмы и заболевания, приём лекарственных препаратов. Внешними факторами для таких объектов могут быть время года (сезон), температура воздуха, индивидуальные характеристиками - возраст (растения, человека), пол. Для системы технической диагностики внешними событиями являются удары (например, удар АПР о препятствия), факторами - магнитные аномалии вблизи АПР.

БЗ могут содержать любую совокупность из следующих предложений-утверждений [17]:

1) множество признаков с их ожидаемыми однократно выявленными значениями для (каждого) КДП для диагноза Δ_i или множество признаков с ожидаемыми изменениями своих значений по периодам развития для каждого КДП для диагноза Δ_i (*вариантами динамики*).

   Пример 1. Для диагноза «пневмококковый конъюнктивит» характерны признаки [18]:
   покраснение глаз.Присутствие = «имеется»,
   покраснение глаз.Локализация с вариантами динамики:
   (1) «справа, слева, справа И слева *постоянно*»;
   (2) «справа 1-2 *суток*, затем справа И слева»;
   (3) «слева 1-2 *суток*, затем справа И слева».

   Пример 2. Несанкционированное выключение питания двигателя АПР характеризуют следующие признаки с модальностью «возможность»: [короткое замыкание] И [ошибка аналого-цифрового преобразователя двигателя] И [ошибка датчика положения двигателя] И [превышено время ожидания ответа со стороны контроллера двигателя] И [контроллер двигателя не инициализирован] И [вода в двигателе] И [перегрев двигателя].
2) множество вариантов КДП (включающих признаки проявления *отклонения от нормы* для рассматриваемой категории объектов или при проводимом методе диагностики) для диагноза Δ_i;
3) факторы, которые вызывают появление диагноза или варианты возникновения внутреннего процесса, связанные со значениями некоторого события (или с их последовательностью)

   Пример 1. При диагнозе «пневмококковый конъюнктивит» его «возможные причины»: через 1-2 суток после начала предшествующего заболевания, такого как грипп; через 1-2 суток после загрязняющего воздействия окружающей среды, такого как: «попадание в глаз пыли», «купание в непроточном водоеме».

   Пример 2. При диагнозе «Перегрев двигателя АПР» причиной возникновения может быть длительная работа двигателя на больших токах.
4) множество признаков с их значениями и изменяющие их события, которые характерны для каждого диагноза, или варианты развития внутреннего процесса, изменённого воздействием события, связывающие диагноз и событие с некоторым значением признака.

   Пример 1. Острый аппендицит, перфоративная язва: обезболивающие таблетки приводят к временному устранению боли (что искажает клиническую картину).

   Пример 2. Перегрузка двигателя АПР может быть вызвана пограничными режимами движения, характеризующимися повышенной нагрузкой на винт либо заклиниванием вала двигателя вследствие того, что попала рыба, намоталась рыболовная сеть или трава.
5) варианты развития внутреннего процесса при воздействии события (варианты реакции на воздействие события), связывающие значение некоторого события с некоторым значением или изменением значения признака.

   Например, для АНПА перегрузка двигателя, вызванная заклиниванием вала двигателя, может быть устранена при вращении двигателя в обратную сторону [16].

   Могут существовать варианты развития процесса, изменённого воздействием события, не только учитывающие *признаки* и *диагноз,* но и связывающие: (признак, диагноз, событие, временн**о**й интервал начала такого воздействия, результирующее значение признака) или (признак, исходное значение признака, событие, временн**о**й интервал начала такого воздействия, результирующее значение признака).

Каждый из вариантов 1) - 5) может содержать и связи со значениями воздействующих факторов или индивидуальных характеристик.

6) связи между диагнозом и «совокупным признаком» (синдромом или патологическим состоянием – в медицине), элементом которого может быть и событие [17, 19]. Иногда для элементов в этой совокупности требуется соблюдение частичного порядка: порядок появления признаков у объекта диагностики, чтобы событие предшествовало внешнему признаку, в том числе с указанным интервалом [17, 18].
   Например, *диарея:* время принятия внутрь «подозрительной еды» равняется 3±3 ч до времени начала диареи [19, 20]; *стафилоккоковый конъюнктивит*: через 1-2 суток после начала предшествующего заболевания: грипп; … через 2-4 суток после контакта с больным конъюнктивитом, с предметами общего пользования больного [18].
7) обобщение (классификация) диагнозов, так что у классов диагнозов указываются общие признаки.
   Например, для множества болезней гепатобилиарной системы и ряда гематологических расстройств определён общий признак «желтушность»; подкатегориями заболеваний гепатобилиарной системы являются заболевания гепатоцеллюлярной системы, печёночно-сосудистые, желчных протоков и т.д. Для заболевания гепатоцеллюлярной системы и гематологической подгруппы на уровне «анемии» определён общий признак «бледность» [20]. В комплекс диагностических признаков для группы заболеваний «болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы» входят характерные признаки: боль в животе, тошнота, - а в КДП для подгруппы холециститов дополнительно входят повышение температуры тела, напряжение мышц передней брюшной стенки, лейкоциты (клинический анализ крови) [21].

Таким образом, онтология проблемной области включает следующие типы отношений (утверждений):

- результаты наблюдения признака, характеризующие проявление диагноза - ⟨диагноз, имя признака, значения по периодам развития⟩;
- значения по периодам развития - последовательность пар <значение, период >;
- описание важных факторов - ⟨диагноз, название характеристики, значение⟩, ⟨диагноз, название фактора, интервал времени⟩, ⟨диагноз, название события, момент совершения⟩;
- для возможных значений признака могут быть описаны изменения значения этого признака под воздействием некоторых событий (внешних воздействий на объект) на разных этапах процесса - ⟨диагноз, имя признака, (имя характеристики), период развития, название события, момент совершения, значение⟩;
- для формирования альтернативных КДП с разными подходами к выявлению достоверных проявлений (признаков) диагноза каждый диагноз связан с некоторым набором КДП) - ⟨диагноз, КДП⟩, а результаты наблюдения будут соответственно связаны с ними - ⟨[диагноз,] КДП, имя признака, значения по периодам развития⟩, в том числе составные признаки (содержащие множество своих характеристик и множество вариантов значения каждой характеристики) - ⟨[диагноз,] КДП, имя признака, имя характеристики, значение характеристики по периодам развития⟩;
- в каждом периоде своей динамики признак может иметь несколько вариантов значений - ⟨значения по периодам развития, {номер периода, диапазон значений}⟩;
- значения признаков и характеристик описываются в форматах числовых и символьных элементов, для них предусмотрено также указание элемента «модальность» со значениями: возможно, характерно, необходимо;
- для учёта вариантов динамики значений признаков и многообразия вариантов течения процессов каждый период динамики задаётся верхней и нижней границами длительности периода, единицей измерения границ.

3 Варианты применения онтологии «Диагностика процессов»

На рисунке 2 представлен фрагмент онтологии «Диагностика процессов» средствами платформы IACPaaS [22]. Характерными вариантами применения этой онтологии являются:

1) получение конкретных онтологий диагностики в различных ПрО (например, медицинской диагностики), когда создаётся копия онтологии проблемной области и вводятся некоторые уточнения, характерные для ПрО;
2) создание БЗ на основе исходной или уточнённой онтологии проблемной области;
3) создание решателя – компонента сервиса, который будет предлагать гипотезы о *диагнозах-отклонениях* на основе *динамики развития признаков.*

Рисунок 2 – Фрагмент онтологии диагностики процессов

В первом варианте среда разработки на платформе предоставляет возможность получения копии онтологии для добавления в неё особенностей в виде дополнительных элементов (терминов) и структурных связей этих элементов с уже зафиксированными диагностическими терминами.

Во втором варианте среда разработки на платформе предоставляет штатный редактор для формирования знаний, структура которых соответствует каждому из типов, приведённых в разделе 2. Эксперт вносит известные ему закономерности и факты в БЗ с помощью редактора.

В третьем варианте среда разработки предоставляет инструменты для построения решателя, выдвигающего гипотезы на основе (онтологической) БЗ [23]. К числу этих инструментов относятся:

- редактор структуры представления результата и объяснения поиска гипотез;
- среда кодирования и отладки программных единиц для решателя с библиотеками методов доступа и обработки онтолого-ориентированных знаний, данных и результатов;
- средство поиска и выбора готовых программных единиц для решателя;
- средство интеграции программных единиц и формирования решателя.

Заключение

В работе представлена онтология проблемной области «Диагностика процессов», позволяющая описывать процессы, происходящие в объектах диагностики различных ПрО. Обычно описываются процессы отклонений от нормального функционирования объекта (заболевания, поломки, неисправности), однако возможны описания процессов при нормальном или эталонном функционировании объекта диагностики.

Особенностью онтологии является возможность описать диагностику одного и того же процесса различными методами, учесть динамику одного или нескольких признаков, объединить процессы в классы с выделением характерных для класса отклонений признаков, описать возможные варианты уточнения одного отклонения. Важным компонентом онтологии является задание нечётких шкал, характеризующих либо значения признака или его характеристики (для составных признаков), либо меру доверия и выраженности признака.

Универсальная онтология проблемной области позволяет снизить трудоёмкость создания онтологии для конкретной ПрО либо её раздела; при использование разработанной проблемной онтологии требуется лишь уточнить некоторые её термины, характерные для ПрО. Решатель, ориентированный на данную онтологию, позволит существенно сократить время создания ЭС диагностики или СППР с интерпретируемым обоснованием полученных решений.

Онтология реализована на платформе IACPaaS и доступна по запросу всем заинтересованным пользователям. Наличие на платформе редактора онтологии и автоматическая генерация редактора БЗ обеспечивает процесс создания онтологии и БЗ на её основе инженерам знаний и экспертам ПрО.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 18-07-01079 и 18-29-03131) и ДВО РАН (проект № 18-МНТ-009).

Список источников

[1] ***Гаврилова, Т.А.*** Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. - Санкт-Петербург: Издательство «Лань», - 2018. - 324 с.

[2] ***Tudorache, T.*** WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web / T. Tudorache, C. Nyulas, N.F. Noy, M.A. Musen // Semantic Web Journal. - 2013. – Vol. 4, No 1. - P.89-99.

[3] ***Боргест, Н.М.*** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. - 2013. - № 3 (9). - С.9-31.

[4] ***Chandrasekaran, B.*** Ontology of Tasks and Methods / B. Chandrasekaran, J.R. Josephson, V.R. Benjamins // In Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management, KAW'98 (18-23 April 1998. Banff, Alberta, Canada).

[5] ***Chandrasekaran, B.*** Generic tasks in knowledge-based reasoning High-level building blocks for expert system design // IEEE Expert. - 1986. - 1 (1). - P.23-30.

[6] ***Patil, R.S.*** Modelling Knowledge of the Patient in Aced-base and Electrolyte Disorders / R.S. Patil, P. Szolovits, W.B. Schwartz // In P. Szolovits (Ed.) Artificial Intelligence in Medicine. - Boulder, CO: Westview Press, 1982. - P.191-226.

[7] ***Long, W.*** Temporal Reasoning for Diagnosis in a Causal Probabilistic Knowledge Base / W. Long // In P. Szolovits (Ed.) Artificial Intelegence in Medicine. - 1996. - 8(3). - P.193–215.

[8] ***Еремеев, А.П.*** Расширение возможностей моделирования временных зависимостей в интеллектуальных системах на основе применения темпоральных прецедентов / А.П. Еремеев, И.Е. Куриленко // В кн.: Интеллектуальные системы. Выпуск 6. / Под. ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2013. - С.89-118.

[9] ***Жмудяк, А.Л.*** Интеллектуальная система дифференциальной диагностики и её использование для диагностики заболеваний печени / А.Л. Жмудяк, А.Н. Повалихин // Ползуновский альманах. – 2007.- №3. - С.176-178.

[10] ***Жмудяк, М.Л.*** Автоматизированная система медицинской диагностики заболеваний с учетом их динамики / М.Л. Жмудяк, А.Н. Повалихин, А.В. Стребуков, А.Л. Жмудяк, Г.Г. Устинов // Ползуновский вестник. – 2006. - №1. - С.95-106.

[11] ***Russ, Th.A.*** Reasoning with Time Dependent Data / Th.A. Russ / Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science technical report MIT/LCS/TR-545, August 1991.

[12] ***Бледжянц, Г.А.*** Ключевые технологии формирования искусственного интеллекта в медицине / Г.А. Бледжянц, М.А. Саркисян, Ю.А. Исакова, Н.А. Туманов, А.Н. Попов, Н.Ш. Бегмуродова // Ремедиум. − 2015. − №12. − С.10-15.

[13] ***Вдовина, Е.П.*** Медицинские экспертные системы // Электронный журнал портала ILab, 9 июня 2013. - http://ilab.xmedtest.net/?q=node/5558.

[14] Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes. Proceedings of the U.S.–Japan Seminar on Fuzzy Sets and Their Applications (Berkeley, California, July 1-4, 1974). Eds.: L.A. Zadeh, K.S. Fu, K. Tanaka - Academic Press, 1975. - 506 p.

[15] ***Кобринский, Б.А.*** Триединство факторов уверенности в задачах медицинской диагностики / Б.А. Кобринский // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2018. - №2. - С.62-72.

[16] ***Inzartsev, A.*** Application of Artificial Intelligence Techniques for Fault Diagnostics of Autonomous Underwater Vehicles / A. Inzartsev, A. Pavin, A. Kleschev, V. Gribova, G. Eliseenko // Proc. of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition (September 19-23, 2016, Monterey, California, USA). ISBN DVD: 978-1-5090-1538-2.

[17] ***Клещев, А.С.*** Модель онтологии предметной области «Медицинская диагностика». Часть 1. Неформальное описание и определение базовых терминов / А.С. Клещев, М.Ю. Черняховская, Ф.М. Москаленко // Журнал НТИ. Серия 2. - 2005. - №12. - С.1-7.

[18] ***Черняховская, М.Ю.*** Формальное представление знаний о конъюнктивитах. 2-е изд., исправленное и дополненное / М.Ю. Черняховская, Ф.М. Москаленко, В.Я. Мельников, В.И. Негода, Л.П. Догадова // Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2009. – 56 с.

[19] ***Denekamp, Y.*** TiMeDDx — A multi-phase anchor-based diagnostic decision-support model / Y. Denekamp, M. Peleg // Journal of Biomedical Informatics. - 2010. - Vol. 43. - P.111–124.

[20] ***Pople, H.E.*** Heuristic Methods for Imposing Structure on Ill-Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnostics / H.E. Pople, Jr. // In P. Szolovits (Ed.) Artificial Intelligence in Medicine. - Boulder, CO: Westview Press, 1982. - P.119–185.

[21] ***Петряева, М.В.*** Медицинские ресурсы IACPaaS для дифференциальной диагностики заболеваний желчного пузыря / М.В. Петряева, А.Я. Лифшиц, Е.А. Шалфеева // Информатика и системы управления. - 2018. - №3(57). - С.81-92.

[22] ***Gribova, V.*** The IACPaaS Cloud Platform: Features and Perspectives / V. Gribova, A. Kleschev, Ph. Moskalenko, V. Timchenko, L. Fedorischev, E. Shalfeeva // Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (Vladivostok, Russia, 25-29 sept. 2017). IEEE. - 2017. - P.80-84.

[23] ***Клещёв, А.С.*** Метод решения задачи запроса дополнительной информации / А.С. Клещёв, В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). - С.310-322. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-310-322.

THE ONTOLOGY OF PROCESSES DIAGNOSIS

V.V. Gribova [1], E.A. Shalfeeva [2]

Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok, Russia
[1] *gribova@iacp.dvo.ru,* [2] *shalf@dvo.ru*

Abstract

The paper represents the ontology of diagnosis of processes with dynamics of symptoms. The ontology allows formalizing any anomalies as a continuously developing internal processes that are not inherent in a normally functioning system. The need to develop such unified ontology is dictated by need of decrease in labor input of creation of ontology of diagnostics for concrete subject domain. For its receiving it will only be required to specify some of its concepts and relations which are a feature of subject domain. The paper can be useful for developers of diagnostic systems and for specialists in area of theory and practical application of ontologies.

Key words: *domain ontology, problem domain ontology, diagnosis, symptom, hypothesis, process.*

Citation: *Gribova VV, Shalfeeva EA.* The ontology of processes diagnosis [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 449-461. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-449-461.

Acknowledgments

This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 18-07-01079 and 18-29-03131) and the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 18-MNT-009).

References

[1] ***Gavrilova TA, Kudrjavcev DV, Muromcev DI.*** Engineering of knowledge. Models and methods: textbook [In Russian]. - Publishing house "Lan'"; 2018.

[2] ***Tudorache T, Nyulas C, Noy NF, Musen MA.*** WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web. Semantic Web Journal 2013; 4(1): 89-99.

[3] ***Borgest NM.*** Keywords of ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. Ontology of Designing 2013; 3(9): 9-31.

[4] ***Chandrasekaran B, Josephson JR, Benjamins VR.*** Ontology of Tasks and Methods. In Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management, KAW'98 (18-23 April 1998. Banff, Alberta, Canada).

[5] ***Chandrasekaran B.*** Generic tasks in knowledge-based reasoning High-level building blocks for expert system design. IEEE Expert 1986; 1(1): 23-30.

[6] ***Patil RS, Szolovits P, Schwartz WB.*** Modelling Knowledge of the Patient in Aced-base and Electrolyte Disorders. In P. Szolovits (Ed.) Artificial Intelligence in Medicine. - Boulder, CO: Westview Press; 1982: 191-226.

[7] ***Long W.*** Temporal Reasoning for Diagnosis in a Causal Probabilistic Knowledge Base. In P. Szolovits (Ed) Artificial Intelegence in Medicine 1996; 8(3): 193–215.

[8] ***Eremeev AP, Kurilenko IE.*** Expansion of opportunities of modeling of temporary dependences in intellectual systems on the basis of temporal precedents [In Russian]. In. Kurejchik VM (Ed) Intelligent systems. Issue 6. – Moscow: Fizmatlit; 2013.

[9] ***Zhmudjak AL, Povalihin AN.*** The intellectual system of differential diagnostics and its use for liver diseases diagnosis [In Russian]. Polzunovsky Almanac 2007; 3: 176-178.

[10] ***Zhmudyak MN, Povalihin AN, Strebukov AV, Zhmudjak AL, Ustinov GG.*** The automated system of medical diagnosis of diseases taking into account their dynamics [In Russian]. Polzunovsky Bulletin 2006; 1: 95-106.
[11] ***Russ ThA.*** Reasoning with Time Dependent Data. Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science technical report MIT/LCS/TR-545, August 1991.
[12] ***Bledzhjanc GA, Sarkisjan MA, Isakova JuA, Tumanov NA, Popov AN, Begmurodova NSh.*** Key technologies of formation of artificial intelligence in medicine [In Russian]. Remedium. 2015; 12: 10-15.
[13] ***Vdovina E.P.*** Medical expert systems [In Russian]. Portal Electronic Journal iLab, 2013. - URL: http://ilab.xmedtest.net/?q=node/5558.
[14] Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes. Proceedings of the U.S.–Japan Seminar on Fuzzy Sets and Their Applications (Berkeley, California, July 1-4, 1974). Eds.: L.A. Zadeh, K.S. Fu, K. Tanaka. - Academic Press; 1975.
[15] ***Kobrinskiy B.A.*** Trinity of confidence factors in problems of medical diagnostics [In Russian]. Artificial Intelligence and Decision Making 2018; 2: 62-72.
[16] ***Inzartsev A, Pavin A, Kleschev A, Gribova V, Eliseenko G.*** Application of Artificial Intelligence Techniques for Fault Diagnostics of Autonomous Underwater Vehicles. Proc. of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition, (September 19-23, 2016, Monterey, California, USA), ISBN DVD: 978-1-5090-1538-2.
[17] ***Kleshchev AS, Chernyakhovskaya MYu, Moskalenko FM.*** Model of ontology of "Medical diagnostics" domain. Part 1. Informal description and definition of basic terms [In Russian]. NTI. A Series 2 2005; 12: 1-7.
[18] ***Chernjahovskaja MYu, Moskalenko FM, Mel'nikov VYa, Negoda VI, Dogadova LP.*** Formal representation of knowledge of conjunctivitis [In Russian]. - Vladivostok: IAPU DVO RAN; 2009.
[19] ***Denekamp Y, Peleg M.*** TiMeDDx — A multi-phase anchor-based diagnostic decision-support model. Journal of Biomedical Informatics 2010; 43: 111–124.
[20] ***Pople HE.*** Heuristic Methods for Imposing Structure on Ill-Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnostics. In P. Szolovits (Ed.) Artificial Intelligence in Medicine. Boulder, CO: Westview Press$ 1982: 119–185.
[21] ***Petrjaeva MV, Lifshic AYa, Shalfeeva EA.*** The medical IACPaaS resources for differential diagnosis of diseases of a gall bladder[In Russian]. Informatics and control systems 2018; 3(57): 81-92.
[22] ***Gribova V, Kleschev A, Moskalenko Ph, Timchenko V, Fedorischev L, Shalfeeva E.*** The IACPaaS Cloud Platform: Features and Perspectives // Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (Vladivostok, Russia, 25-29 sept. 2017). IEEE; 2017: 80-84.
[23] ***Kleshchev AS., Gribova VV., Shalfeeva EA.*** The method of solution of the problem of additional information request [In Russian]. Ontology of designing 2017; 7(3): 310-322. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-310-322.

Сведения об авторах

Грибова Валерия Викторовна, 1965 г. рождения. Окончила Ленинградский политехнический институт (1989), д.т.н. (2007). Заведующая лабораторией интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, заместитель директора по научной работе, вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ в области искусственного интеллекта, проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях.
Valeriya Victorovna Gribova (b. 1965) graduated from the Leningrad Polytechnic University in 1989, Professor's degree (2007). She is a Head of lab. of intelligent systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, a Vice-President of Russian Association of Artificial Intelligence. She is the co-author of more than 200 publications in the fields of AI, informatics, program technologies and systems.

Шалфеева Елена Арефьевна, 1967 г. рождения. Окончила математический факультет Дальневосточного государственного университета (1989), к.т.н. (2000). Старший научный сотрудник лаборатории Интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, доцент по специальности. В списке научных трудов более 80 работ в области разработки систем искусственного интеллекта.
Elena Arefjevna Shalfeeva (b. 1967) graduated from the Far Eastern State University (Vladivostok) in 1989, PhD (2000). She is Senior Researcher at lab. of intelligent systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, lecture. She is the co-author of more than 80 publications in the fields of program models and systems and AI.

УДК 004.89:519.816:510.649

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДДЕРЖКИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СППР

Г.Б. Загорулько

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосибирск, Россия
gal@iis.nsk.su

Аннотация

Представлена модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР). Модель включает концепцию комплексной поддержки, описывающую потребности разработчиков, методы и средства поддержки разработки ИСППР, структуру репозитория методов принятия решений, архитектуру и методику разработки типовой ИСППР. Методика основывается на принципах: максимальное использование готовых решений, масштабируемость, доступность, открытость, простота использования, независимость от предметной области, информативность. Их соблюдение обеспечивается применением онтологического, фрактально-стратифицированного, сервис-ориентированного и каркасного подходов, а также подходов быстрого прототипирования и гибкой разработки. Методика основана на использовании технологии Semantic Web и технологии разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов. Подробно описаны средства комплексной поддержки разработки ИСППР – онтология области знаний «Поддержка принятия решений», информационно-аналитический интернет-ресурс, репозиторий методов поддержки принятия решений, методика разработки ИСППР. В качестве каркаса ИСППР предложено использовать информационно-аналитический интернет-ресурс, который строится на основе онтологии предметной области и оболочки используемой технологии. С помощью подключенных к ресурсу сервисов, реализующих хранимые в репозитории методы, обеспечивается функциональность разрабатываемой ИСППР. Для описания модели комплексной поддержки используется язык дескрипционной логики семейства SOIN(D).

Ключевые слова: *поддержка принятия решений, интеллектуальная СППР, поддержка разработки СППР, модель комплексной поддержки, дескрипционная логика.*

Цитирование: *Загорулько, Г.Б.* Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР / Г.Б. Загорулько // *Онтология проектирования.* – 2019. – Т. 9, №4(34). - С. 462-479. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.

Введение

Термин «Система поддержки принятия решений» (СППР) был введён Скоттом-Мортоном в 1971 г. [1], хотя программные системы подобного назначения появились раньше. В настоящее время СППР активно используются во многих сферах человеческой деятельности. Массовая компьютеризация таких сфер жизни, как экономика, политика, здравоохранение, образование, юриспруденция и пр. слабоформализуемых областей, привела к росту востребованности СППР. Накопленные в этих областях знания и данные требуют специальных (интеллектуальных) средств для работы с ними. Владение этими средствами необходимо, поскольку растёт ответственность за последствия принимаемых решений. Поэтому так важны системы, способные оказать помощь лицам, принимающим решения.

Разработка СППР – важная проблема, которая осложняется отсутствием доступных инструментариев и систематизированной информации о методах и аспектах поддержки принятия решений (ППР), в особенности в слабоформализованных предметных областях (ПрО).

Процесс разработки СППР также нуждается во всесторонней (комплексной) поддержке, а создание методов и средств такой поддержки является актуальной задачей.

Известно множество определений и классификаций СППР. В работе принято, что СППР «являются человеко-машинными системами, которые позволяют лицам, принимающим решения, использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктурированных проблем» [2]. Если в СППР для решения задач используются методы искусственного интеллекта, то такие системы называются интеллектуальными СППР (ИСППР).

Статья посвящена модели комплексной поддержки разработки ИСППР, которая описывает процесс удовлетворения потребностей разработчиков ИСППР, методы удовлетворения таких потребностей и средства реализации этих методов.

1 Формальная система

Модель комплексной поддержки разработки (КПР) ИСППР учитывает достоинства современных подходов и методологий разработки систем такого класса. Она включает концепцию КПР, подходы, принципы, технологии, используемые для разработки ИСППР, методику разработки репозитория методов ППР, архитектуру и методику разработки типовой ИСППР (рисунок 1).

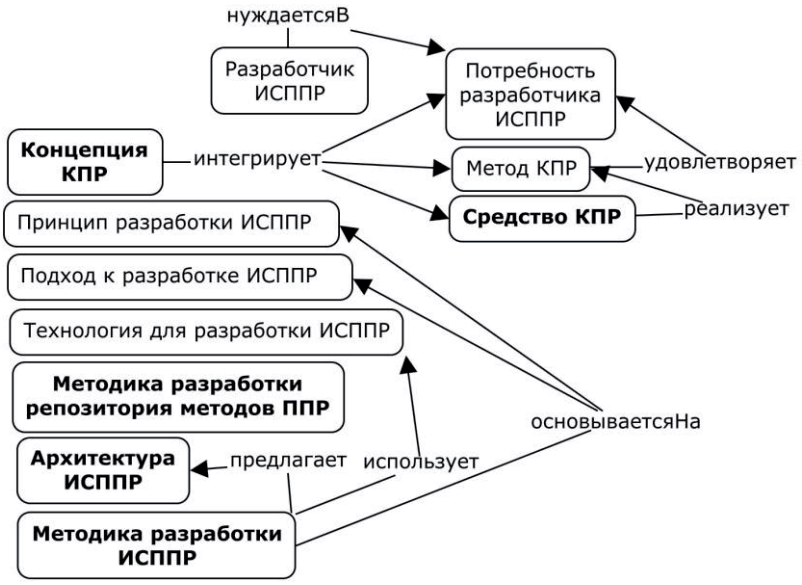


Рисунок 1 – Основные элементы модели КПР

Для описания модели КПР рассмотрим формальную систему

$$FM = < C, R, A >,$$

где C – множество атомарных концептов КПР, R – множество атомарных ролей, описывающих свойства концептов и отношения между ними, A – множество аксиом, ограничивающих возможные интерпретации концептов и ролей (устанавливающих связь между концептами и ролями). Аксиомы содержат описания концептов, составленные из атомарных концептов и ограничений ролей с использованием синтаксических правил дескрипционной логики SOIN(D) [3].

Множества C и R модели FM включают следующие основные концепты и роли:

$C = \{$ Концепция_КПР, Принцип_разработки_ИСППР,
Подход_к_разработке_ИСППР, Технология_для_разработки_ИСППР,

Методика_разработки_репозитария_методов_ППР,
Архитектура_ИСППР, Методика_разработки_ИСППР,
Разработчик_ИСППР, Потребность_разработчика_ИСППР, Метод_КПР,
Средство_КПР },

R ={ предлагает, использует, основываетсяНа, интегрирует, нуждаетсяВ,
удовлетворяет, реализует }.

Интерпретация I формальной системы FM, задающая семантику последней, представляется парой

$$I = < \Delta, f >,$$

где Δ – домен, множество всех экземпляров (индивидов) модели КПР, f – функция интерпретации:

- f: $C \cup R \rightarrow (2^{\Delta}) \cup (2^{\Delta} \times 2^{\Delta})$;
- $f(C_i) \subseteq \Delta$, $C_i \in C$ – каждому концепту сопоставляется множество его экземпляров;
- $f(R_i) \subseteq \Delta \times \Delta$, $R_i \in R$ – каждой роли сопоставляется бинарное отношение – множество пар связываемых им индивидов.

Функция f расширяется для интерпретации составных концептов в соответствии с индуктивными правилами логики SOIN(D). В таблице 1 представлены конструкторы этой логики и правила интерпретации (семантика) составных концептов и ролей.

Таблица 1 – Конструкторы и правила интерпретации составных концептов и ролей логики SOIN(D)

Название	Синтаксис	Семантика	Описание
Top	$\top$	Δ	Универсальный класс (сущность) – множество всех индивидов
Bottom	$\bot$	$\emptyset$	Универсальный класс – пустое множество
Complement	$\neg C$	$\Delta \setminus f(C)$	Дополнение концепта
Intersection	$C \sqcap D$	$f(C) \cap f(D)$	Пересечение концептов
Union	$C \sqcup D$	$f(C) \cup f(D)$	Объединение концептов
Value restriction	$\forall R.C$	$\{ a \in \Delta \mid \forall b\,(a, b) \in f(R) \rightarrow b \in f(C) \}$	Ограничение значений концепта
Limited Existential quantification	$\exists R.C$	$\{ a \in \Delta \mid \exists b\,(a, b) \in f(R) \wedge b \in f(C) \}$	Ограничение значений концепта
Number restrictions	$\geq$ nR	$\{ a \in \Delta \mid \lvert\{ b \in \Delta \rvert \lvert(a, b) \in f(R)\rvert \geq n \}$	Ограничение значений концепта
	$\leq$ nR	$\{ a \in \Delta \mid \lvert\{ b \in \Delta \rvert \lvert(a, b) \in f(R)\rvert \leq n \}$	
	$=$ nR	$\{ a \in \Delta \mid \lvert\{ b \in \Delta \rvert \lvert(a, b) \in f(R)\rvert = n \}$	
Complement	$\neg R$	$\Delta \times \Delta \setminus f(R)$	Дополнение роли
Inverse	R^{-}	$\{ (b, a) \in \Delta \times \Delta \mid (a, b) \in f(R) \}$	Обратная роль
Role restriction	$R\lvert_C$	$f(R) \cap (\Delta \times f(C))$	Ограничение роли
Nominal	I	$f(I) \subseteq \Delta \wedge \lvert f(I)\rvert = 1$	Индивиды

При описании концептов, ролей, аксиом и их интерпретаций используются следующие соглашения по именованию [3].

- Имена концептов пишутся с прописной буквы, за которой следуют строчные. Если название состоит из нескольких слов, они соединяются символом подчеркивания (например, Концепция_КПР, Потребность_разработчика_ИСППР).
- Названия ролей пишутся строчными буквами. Если название состоит из нескольких слов, они «приклеиваются» друг к другу, и каждое слово, начиная со второго, пишется с прописной буквы (например, основываетсяНа, выполняетсяНаЭтапе).

- Имена объектов полностью состоят из прописных букв. Если имя состоит из нескольких слов, они соединяются символом подчеркивания (например, КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ_ПОДДЕРЖКА, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ_ИНФОРМАЦИИ).

Интерпретация формальной системы *FM* будет задавать модель КПР как множество конкретных объектов, принадлежащих определённым классам, связанных определёнными отношениями и удовлетворяющих аксиомам *A*.

Отметим, что термин «модель» можно рассматривать не только в логическом или алгебраическом смысле, но и как упрощённое информационное представление совокупности объектов, явлений и процессов реального мира [4], описывающих процесс КПР.

2 Концепция КПР

Концепция КПР интегрирует потребности разработчиков, методы и средства поддержки разработки ИСППР (рисунок 2).

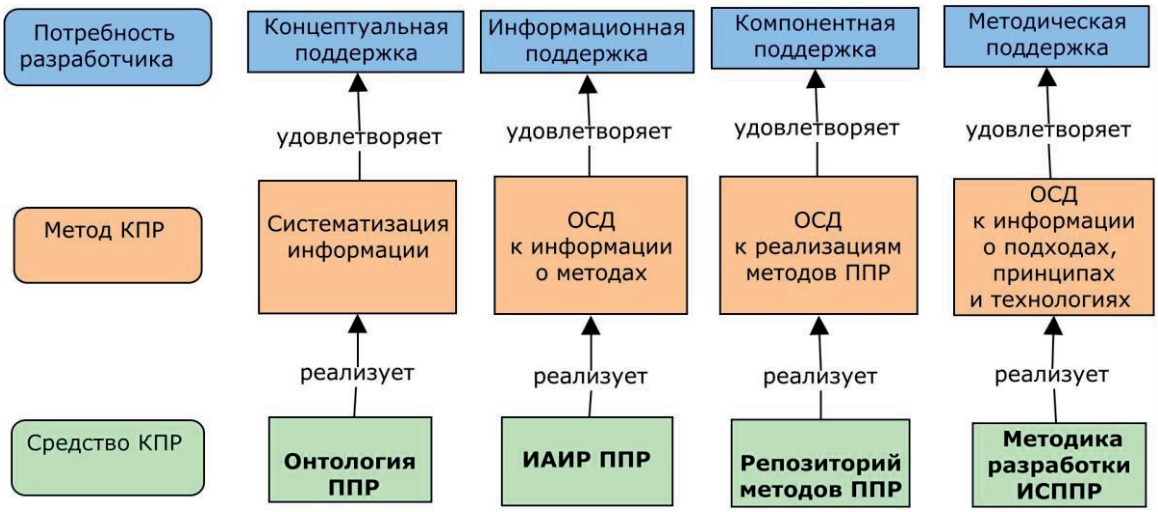


Рисунок 2 – Концепция комплексной поддержки интеллектуальных СППР
(здесь: ОСД - обеспечение содержательного доступа; ИАИР – информационно-аналитический интернет-ресурс)

В разработке ИСППР участвуют специалисты разного профиля: эксперты той ПрО, для которой создается ИСППР; инженеры знаний, являющиеся специалистами в области представления знаний и поддержки принятия решений; программисты. Т.е. формально:

f(Разработчик_ИСППР) = { ИНЖЕНЕР_ЗНАНИЙ, ЭКСПЕРТ, ПРОГРАММИСТ }.

Каждый из них говорит на своём профессиональном языке, использует свою терминологию. Для их успешной совместной работы, в особенности на начальных этапах разработки, необходима единая система понятий, общий концептуальный базис.

Помимо общих представлений об области знаний разработчикам необходима информация о конкретных методах ППР, о классах задач, решаемых этими методами, о возможностях и ограничениях каждого из них. Разработчикам должна быть доступна информация об основных этапах принятия решений и используемых на каждом из них методах, а также об инструментальных средствах, реализующих эти методы.

На этапе реализации ИСППР важную роль играет компонентная поддержка разработчиков. Возможность выбрать и опробовать готовые программные компоненты, реализующие необходимые методы поддержки принятия решений или организующие интерфейс с пользователями, может существенно облегчить и ускорить процесс создания ИСППР.

Важной потребностью разработчиков на этапе реализации является методическая поддержка, включающая описание подходов и принципов разработки ИСППР, средства разработки и методику их применения. Т.о.:

f(Потребность_разработчика) = { КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ_ПОДДЕРЖКА,
ИНФОРМАЦИОННАЯ_ПОДДЕРЖКА,
КОМПОНЕНТНАЯ_ПОДДЕРЖКА,
МЕТОДИЧЕСКАЯ_ПОДДЕРЖКА }.

Согласно предлагаемой концепции базис КПР обеспечивается путём структуризации области знаний «Поддержка принятия решений», результатом которой является онтология этой области. Информационная поддержка осуществляется путём обеспечения содержательного доступа (ОСД) к структурированным на основе онтологии знаниям, информационным ресурсам и методам, относящимся к области знаний «Поддержка принятия решений». Средством такой поддержки является специализированный информационно-аналитический интернет-ресурс (ИАИР) для ППР. Компонентная поддержка процесса разработки ИСППР осуществляется путём ОСД к реализациям методов ППР и обеспечивается репозиторием методов ППР. Методическая поддержка состоит в предоставлении информации о подходах, принципах, методиках разработки ИСППР, а также методики создания ИСППР. Формально имеем:

f(Метод_КПР) = { СИСТЕМАТИЗАЦИЯ_ИНФОРМАЦИИ,
ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_МЕТОДАХ_ППР,
ОСД_К_РЕАЛИЗАЦИЯМ_МЕТОДОВ_ППР,
ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_ПОДХОДАХ_ПРИНЦИПАХ_ТЕХНОЛОГИЯХ},

f(Средство_КПР) = { ОНТОЛОГИЯ_ППР, ИАИР_ППР, РЕПОЗИТОРИЙ_МЕТОДОВ_ППР,
МЕТОДИКА_ РАЗРАБОТКИ_ИСППР }.

Методы КПР удовлетворяют потребности разработчиков ИСППР:

f(удовлетворяет) = { (СИСТЕМАТИЗАЦИЯ_ИНФОРМАЦИИ, КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ_ПОДДЕРЖКА),
(ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_МЕТОДАХ_ППР, ИНФОРМАЦИОННАЯ_ПОДДЕРЖКА),
(ОСД_К_РЕАЛИЗАЦИЯМ_МЕТОДОВ_ППР, КОМПОНЕНТНАЯ_ПОДДЕРЖКА),
(ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_ПОДХОДАХ_ПРИНЦИПАХ_ТЕХНОЛОГИЯХ,
МЕТОДИЧЕСКАЯ_ПОДДЕРЖКА) }.

Средства КПР реализуют методы КПР:

f(реализует) = { (ОНТОЛОГИЯ_ППР, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ_ИНФОРМАЦИИ),
(ИАИР_ППР, ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_МЕТОДАХ_ППР),
(РЕПОЗИТОРИЙ_МЕТОДОВ_ППР, ОСД_К_РЕАЛИЗАЦИЯМ_МЕТОДОВ_ППР),
(МЕТОДИКА_ РАЗРАБОТКИ_ИСППР,
ОСД_К_ИНФОРМАЦИИ_О_ПОДХОДАХ_ПРИНЦИПАХ_ТЕХНОЛОГИЯХ) }.

3 Подходы, принципы, технологии, предлагаемые для разработки ИСППР

Рассматриваемая модель КПР включает ряд практических принципов, а также подходы и технологии, которые обеспечивают соблюдение этих принципов, упрощают и ускоряют разработку ИСППР, определяют свойства и функциональные возможности ИСППР, для разработки которых предназначена данная модель (рисунок 3).

3.1 Принципы разработки ИСППР

При обеспечении КПР необходимо предоставить доступ к имеющимся реализациям, и при разработке ИСППР обеспечить *максимальное использование готовых решений*. Важной задачей является *обеспечение масштабируемости* и *актуальности* предлагаемых средств и конкретных ИСППР. Соблюдение этих принципов позволит легко подключать новые методы ППР и интерфейсные компоненты, модифицировать имеющиеся. Используемые средства и

разрабатываемые системы должны быть *открыты* и *доступны*. В таком случае будет обеспечено их широкое использование. Для снижения квалификационных требований к разработчикам и пользователям ИСППР предлагаемые средства должны быть *просты в использовании* и, по возможности, *независимы от ПрО*.

Реализация принципа *информативности* позволяет ОСД к информации о всех аспектах разработки и функционирования ИСППР. Итак:

f(Принпцип_разработки_ИСППР) = { МАКСИМАЛЬНОЕ_ИСПОЛЬЗОВАНИЕ_ГОТОВЫХ_РЕШЕНИЙ, МАСШТАБИРУЕМОСТЬ, ДОСТУПНОСТЬ, ОТКРЫТОСТЬ, ПРОСТОТА_ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, НЕЗАВИСИМОСТЬ_ОТ_ПО, ИНФОРМАТИВНОСТЬ}.

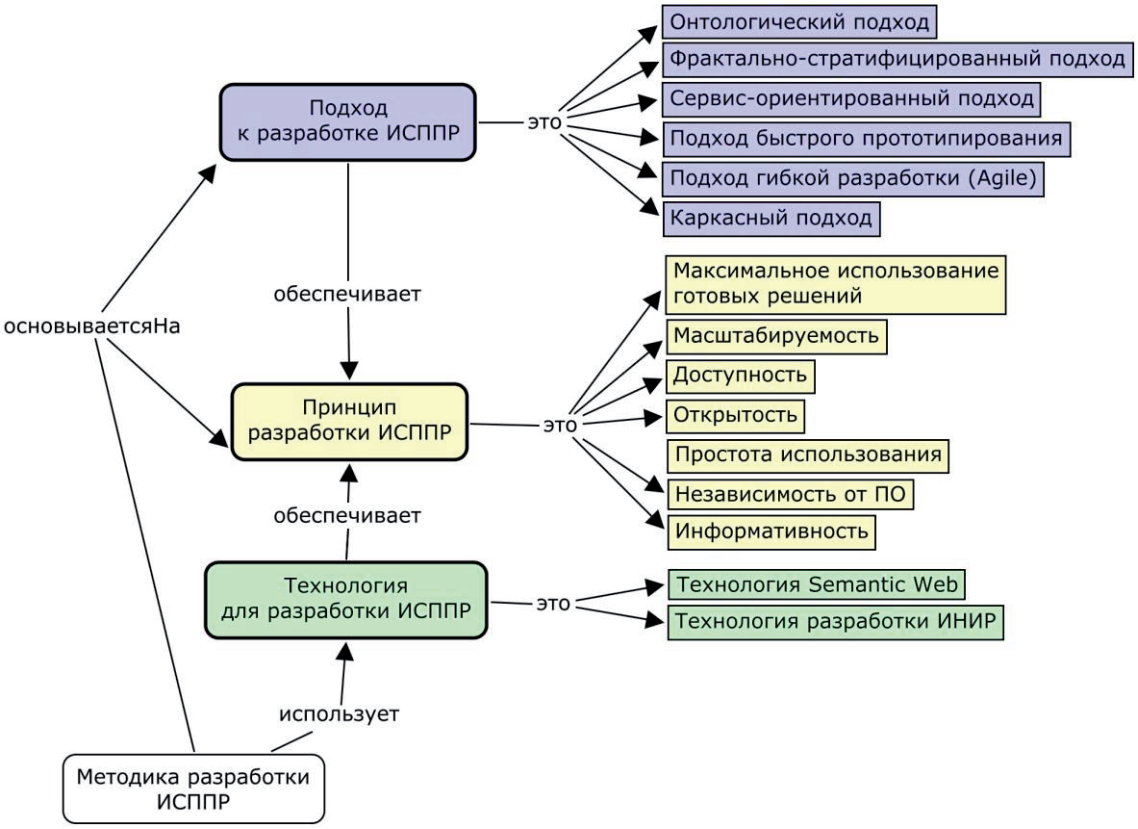


Рисунок 3 – Принципы, подходы и технологии, предлагаемые для разработки ИСППР (здесь ИНИР – интеллектуальный научный интернет-ресурс)

3.2 Подходы к разработке ИСППР

При разработке методов и средств КПР был использован *онтологический подход*. Онтология ППР является концептуальной основой КПР. Согласно предлагаемой модели, базы знаний ИСППР также должны разрабатываться на основе онтологии [5, 6].

Использование *фрактально-стратифицированного подхода* позволяет учесть подобие системы знаний в целом и её фрагментов и упрощает построение онтологий [7].

При разработке прикладных программных систем хорошо зарекомендовал себя *сервис-ориентированный* подход [8]. Все функциональные возможности ИСППР, методы, которые используются для решения поставленных задач, а также пользовательский интерфейс реализуются в виде сервисов.

Подходы *быстрого прототипирования* [9], *гибкой разработки* [10] и *каркасный подход* [11] являются универсальными при разработке широкого класса программных систем, что позволяет использовать их и для разработки ИСППР.

Фиксируя сказанное формально, имеем:

I(Подход_к_разработке_ИСППР) =
{ ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ_ПОДХОД, СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ_ПОДХОД,
ФРАКТАЛЬНО_СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ_ПОДХОД,
ПОДХОД_БЫСТРОГО_ПРОТОТИПИРОВАНИЯ,
ПОДХОД_ГИБКОЙ_РАЗРАБОТКИ, КАРКАСНЫЙ_ПОДХОД }.

Используемые подходы обеспечивают соблюдение упомянутых выше принципов, т.е.:

Подход_к_разработке_ИСППР ⊑ ∃обеспечивает.Принцип_разработки_ИСППР.

3.3 Технологии для разработки ИСППР

Модель КПР включает две технологии, используемые для разработки ИСППР:

I(Технология_для_разработки_ИСППР) =
{ ТЕХНОЛОГИЯ_SEMANTIC_WEB, ТЕХНОЛОГИЯ_РАЗРАБОТКИ_ИНИР },

где ИНИР - интеллектуальный научный интернет-ресурс [12, 13].

Технологии содержат набор средств, достаточный для того, чтобы процесс разработки был простым, понятным, удовлетворяющим рассмотренным выше принципам [12-14]. На рисунке 4 представлены их основные компоненты.

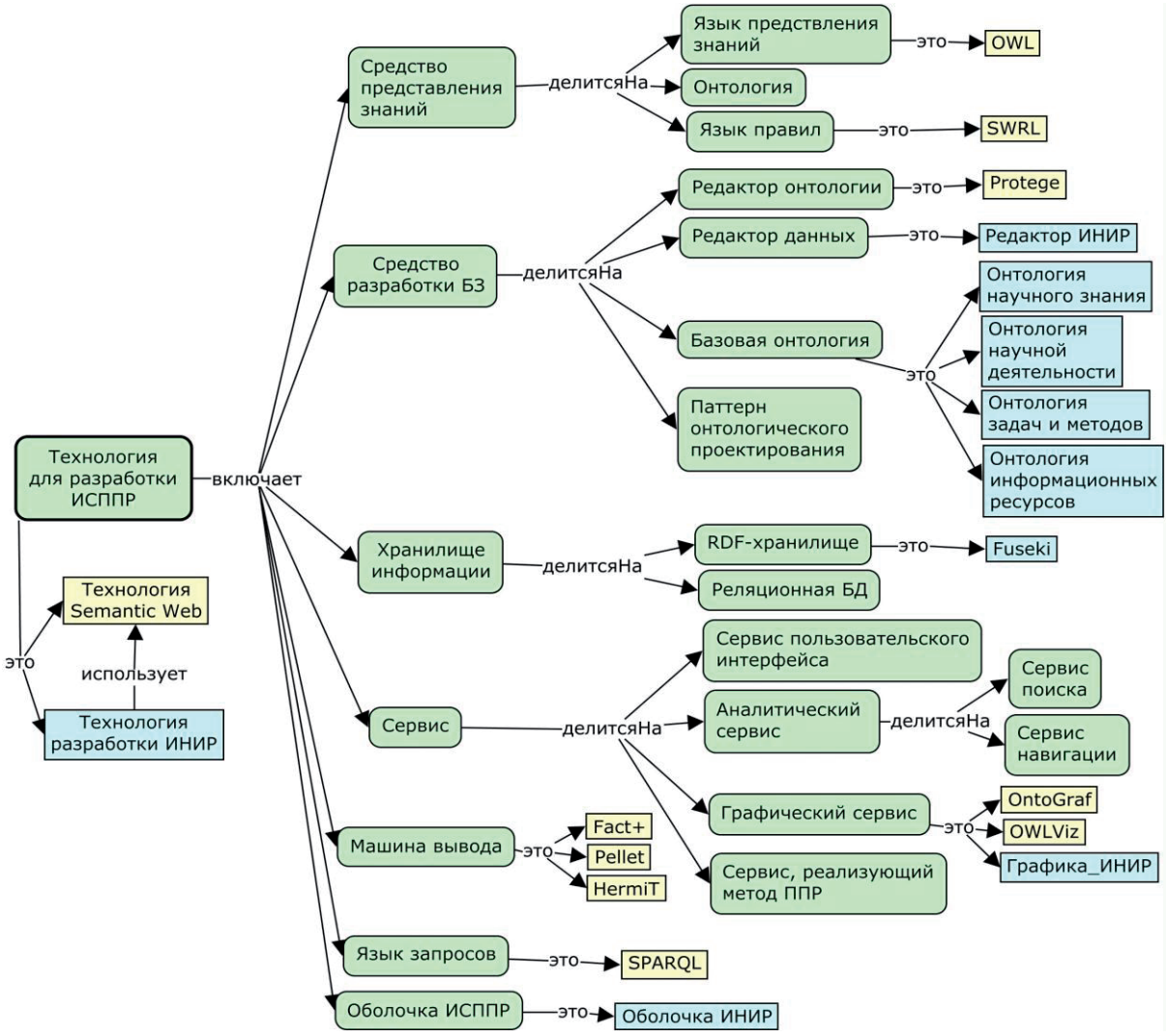


Рисунок 4 – Технологии, используемые для разработки ИСППР

Следующие аксиомы задают свойства понятий модели КПР, описывающих используемые технологии:

Технология_для_разработки_ИСППР ⊑
∃ включает.[Средство_представления_знаний ⊔ Средство_разработки_БЗ ⊔
Хранилище_информации ⊔ Сервис ⊔ Машина_вывода ⊔
Язык_запросов ⊔ Оболочка_ИСППР],

Средство_представления_знаний ⊒ Язык_представления_знаний ⊔ Онтология ⊔ Язык_правил,

Средство_разработки_БЗ ⊒ Редактор_онтологии ⊔ Редактор_данных ⊔ Базовая_онтология ⊔
Паттерн_онтологического_проектирования,

Хранилище_информации ⊒ RDF_хранилище ⊔ Реляционная_БД,

Сервис ⊒ Сервис_пользовательского_интерфейса ⊔ Аналитический_сервис ⊔
Графический_сервис ⊔ Сервис_реализующий_метод_ППР,

Аналитический_сервис ⊒ Сервис_поиска ⊔ Сервис_навигации,

I(включает) = { (ТЕХНОЛОГИЯ_SEMANTIC_WEB,
(OWL, PROTÉGÉ, ONTOGRAF, OWLVIZ, FACT+, PELLET, HERMIT, SPARQL)) }.

Последняя запись указывает множество всех пар отношения «включает», первым элементом которых является технология Semantic Web, а вторым – та или иная компонента технологии.

Аналогично представлены экземпляры данного отношения для технологии разработки ИНИР:

I(включает) = { (ТЕХНОЛОГИЯ_РАЗРАБОТКИ_ИНИР,
(РЕДАКТОР_ИНИР, ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОГО_ЗНАНИЯ,
ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОЙ_ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ОНТОЛОГИЯ_ЗАДАЧ_МЕТОДОВ,
ОНТОЛОГИЯ_ИНФОРМАЦИОННЫХ_РЕСУРСОВ,
ОНТОЛОГИЯ_МЕДИЦИНСКОЙ_ДИАГНОСТИКИ,
ОНТОЛОГИЯ_ТЕХНИЧЕСКОЙ_ДИАГНОСТИКИ,
FUSEKI, ГРАФИКА_ИАИР, ОБОЛОЧКА_ИНИР)) }.

При этом технология разработки ИНИР использует компоненты и средства Semantic Web:

I(использует) = { (ТЕХНОЛОГИЯ_РАЗРАБОТКИ_ИНИР, ТЕХНОЛОГИЯ_SEMANTIC_WEB) }.

Использование базовых онтологий не является обязательным при разработке онтологии ПрО создаваемой ИСППР. Однако, оно может существенно снизить трудоёмкость этого процесса, предлагая основные понятия (концепты) и отношения между ними для структуризации рассматриваемой области [12].

4 Средства КПР

Средства КПР (см. рисунок 2) являются сложными объектами, интерпретации которых состоят только из этих объектов:

Онтология_ППР ≡ { ОНТОЛОГИЯ_ППР },

ИАИР_ППР ≡ { ИАИР_ППР },

Репозиторий ≡ { РЕПОЗИТОРИЙ },

Методика_разработки_ИСППР ≡ { МЕТОДИКА_РАЗРАБОТКИ_ИСППР }.

4.1 Онтология ППР

Средством концептуальной поддержки разработки ИСППР является онтология ППР. На рисунке 5 показаны основные компоненты онтологии ППР.

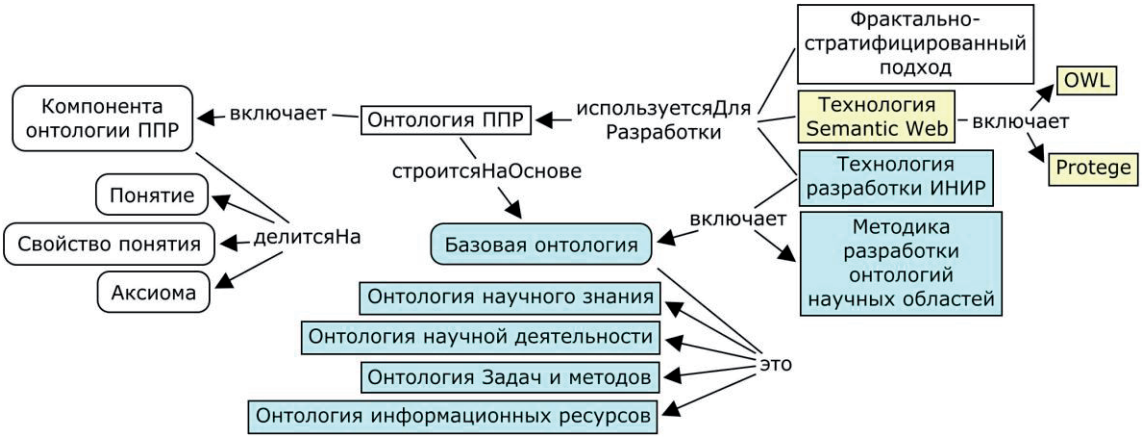


Рисунок 5 – Основные компоненты онтологии ППР

Формально имеем:

Онтология_ППР ⊑ ∃ включает.Компонента_онтологии ⊓ ∃ строитсяНаОснове.Базовая_онтология,

Компонента_онтологии ⊒ Понятие ⊔ Свойство_понятия ⊔ Аксиома,

f(используетсяДляРазработки) ⊃

{ ((ФРАКТАЛЬНО_СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ_ПОДХОД,
МЕТОДИКА_РАЗРАБОТКИ_ОНТОЛОГИЙ_НАУЧНЫХ_ОБЛАСТЕЙ,
ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОГО_ЗНАНИЯ, ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОЙ_ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ОНТОЛОГИЯ_ЗАДАЧ_МЕТОДОВ, ОНТОЛОГИЯ_ИНФОРМАЦИОННЫХ_РЕСУРСОВ),
ОНТОЛОГИЯ_ППР) }.

Последнее выражение описывает множество всех пар отношения «используетсяДляРазработки», первым элементом которых является подход или компонента технологии, которые использованы при разработке онтологии, а вторым – онтология области знаний ППР.

f(Базовая_онтология) = {
ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОГО_ЗНАНИЯ, ОНТОЛОГИЯ_НАУЧНОЙ_ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ОНТОЛОГИЯ_ЗАДАЧ_И_МЕТОДОВ, ОНТОЛОГИЯ_ИНФОРМАЦИОННЫХ_РЕСУРСОВ}.

Содержательно онтология ППР описана в работе [13].

4.2 Информационно-аналитический ресурс по ППР

Средством информационной поддержки разработки ИСППР является ИАИР ППР. Информационная поддержка заключается в предоставлении пользователям содержательного доступа к онтологии ППР и к систематизированной в соответствии с онтологией информации о рассматриваемой ПрО. Помимо оказания информационной поддержки ИАИР ППР предназначен для обеспечения доступа к методам обработки информации и решения задач.

На рисунке 6 представлена онтологическая модель ИАИР ППР.

ИАИР строится на основе оболочки ИНИР, предоставляемой технологией разработки ИНИР [12]:

f(строитсяНаОснове) = { (ИНИР_ППР, ОБОЛОЧКА_ИНИР) }.

Компоненты ИАИР делятся на три основных типа:

ИАИР_ППР ⊑ ∃ включает.Компонента_ИАИР,

Компонента_ИАИР ⊒ База_знаний ⊔ Контент ⊔ Системный_сервис,

База_знаний ⊑ ∃ содержит.[Онтология ⊔ Правило_вывода],

Контент ⊑ ∃ содержит.[Информационный_объект ⊔ Сетевой_объект].

Информационные объекты – это конкретные экземпляры понятий онтологии. Они представляют систематизированную в соответствии с онтологией информацию о рассматривае-

мой ПрО. Информационные объекты могут описывать как реальные объекты (персона, город, организация, книга, метод исследования), так и сетевые объекты (информационный ресурс, веб-сервис):

Информационный_объект ⊒ Описание_реального_объекта ⊔ Описание_сетевого_объекта.

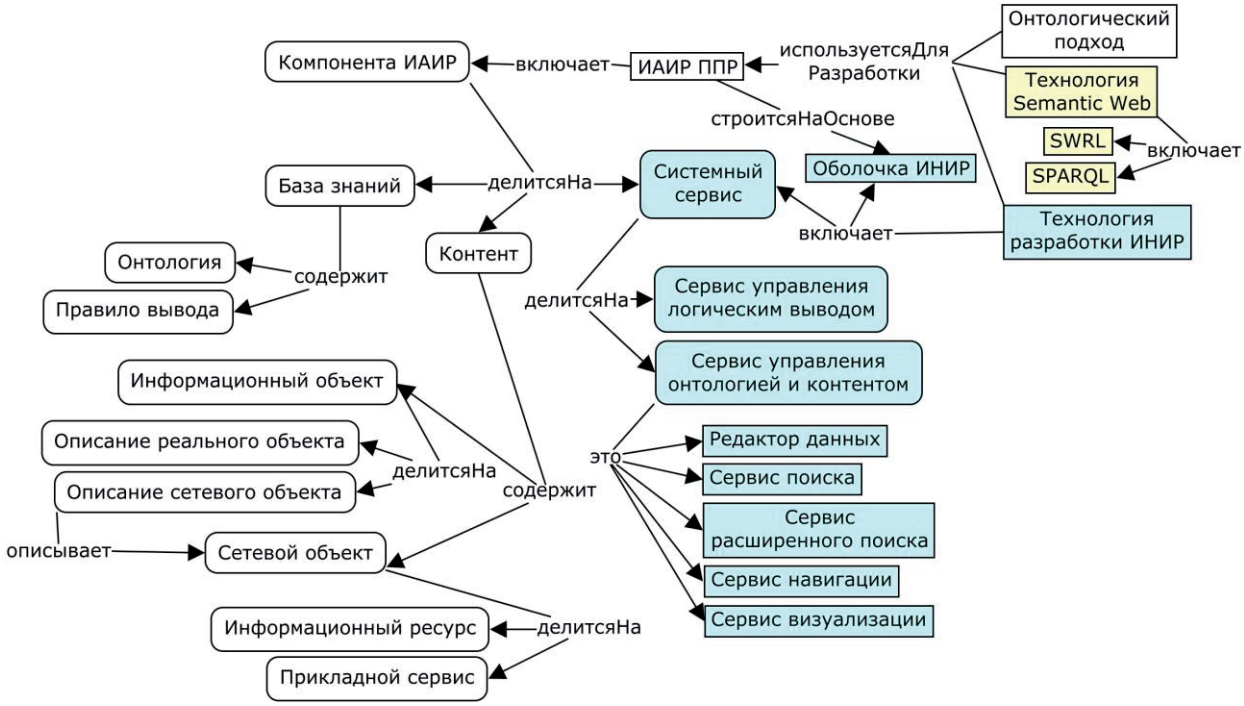


Рисунок 6 – Модель ИАИР ППР

Сетевые объекты могут быть как интегрированы в ИАИР, т.е. содержаться в его контенте, так и располагаться в другом месте. Каждый интегрированный в ресурс сетевой объект обязательно должен описываться соответствующим информационным объектом:

Сетевой_объект ⊒ Информационный_ресурс ⊔ Прикладной_сервис,

Сетевой_объект ⊑ ∃ описывается.Описание_сетевого_объекта.

Под информационными ресурсами понимаются произвольные ресурсы, доступные через компьютерные средства связи. Это могут быть базы данных, текстовые или мультимедиа документы и их коллекции, сайты и т.д:

Информационный_ресурс ⊑ ∃ имеетТип.Тип_информационного_ресурса,

ℐ(Тип_информационного_ресурса) = { БАЗА ДАННЫХ, ДОКУМЕНТ, КОЛЛЕКЦИЯ, САЙТ}.

Прикладные сервисы предназначены для решения задач ПрО. Наличие таких сервисов в контенте является особенностью ИАИР ППР. Пользователь не просто получает информацию об интересующем его методе или ссылку на реализацию метода. Он может тут же, на ресурсе, посмотреть примеры использования метода, запустить его, проанализировать его работу с разными входными данными. ИАИР ППР предоставляет также доступ к сервисам, имеющим программные интерфейсы. Семантические описания этих сервисов существенно упрощают их использование в прикладных ИСППР.

Системные сервисы определяют базовую функциональность ИАИР ППР, характерную для подобных ресурсов:

Системный_сервис ⊒ Сервис_управления_логическим_выводом ⊔
Сервис_управления_онтологией_и_контентом.

Сервис управления логическим выводом позволяет получать информацию, не представленную в явном виде в контенте ИАИР, за счет интерпретации аксиом и правил вывода, содержащихся в БЗ. Сервисы управления онтологией и контентом осуществляют проверку онтологии и контента на совместность, позволяют вводить и редактировать информационные и сетевые объекты, предоставляют возможность поиска, навигации по онтологии и контенту ИАИР. Сервисы визуализации позволяют отображать данные в табличном [15] или графическом виде [16]. Сервисы визуализации, отображая информацию в виде графиков и диаграмм, способствуют повышению наглядности и позволяют провести более качественный её анализ. Т.о., имеем:

f(Сервис_управления_онтологией_и_контентом) =
{ РЕДАКТОР_ДАННЫХ, СЕРВИС_ПОИСКА, СЕРВИС_РАСШИРЕННОГО_ПОИСКА, СЕРВИС_НАВИГАЦИИ, СЕРВИС_ВИЗУАЛИЗАЦИИ }.

Для разработки ИАИР ППР использованы следующие подходы и технологии:

f(используетсяДляРазработки) =
{ ((ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ_ПОДХОД, ТЕХНОЛОГИЯ_SEMANTIC_WEB, SWRL, SPARQL, ТЕХНОЛОГИЯ_РАЗРАБОТКИ_ИНИР, ОБОЛОЧКА_ИНИР), ИАИР_ППР) }.

4.3 Репозиторий методов ППР

Средством компонентной поддержки разработчиков является репозиторий методов ППР. Модель репозитория представлена на рисунке 7.

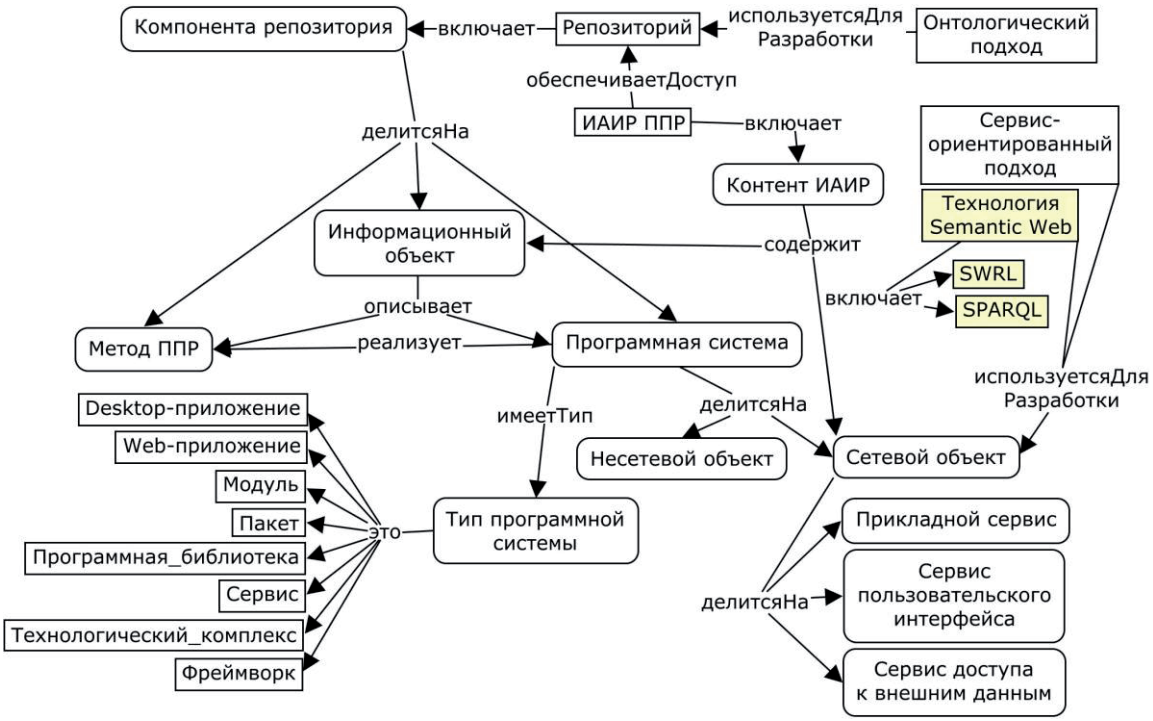


Рисунок 7 - Модель репозитория методов ППР

Репозиторий включает три основных типа компонентов:

Репозиторий ⊑ ∃ включает . Компонента_репозитория,

Компонента_репозитория ⊒ Метод_ППР ⊔ Информационный_объект ⊔ Программная_система.

Следующие аксиомы описывают подклассы и роли компонентов репозитория, а также их связи с контентом ИАИР:

Программная_система ⊒ Сетевой_объект ⊔ Несетевой_объект,

Программная_система ⊑ ∃ имеетТип.Тип_программной_системы ⊓ ∃ реализует.Метод_ППР,

Информационный_объект ⊑ ∃ описывает.[Метод_ППР ⊔ Программная_ система],

Контент_ИАИР ⊑ ∃ содержит.[Информационный_объект ⊔ Сетевой_объект],

I(Тип_программной_системы) = { DESKTOP_ПРИЛОЖЕНИЕ, WEB_ПРИЛОЖЕНИЕ, МОДУЛЬ, ПАКЕТ, ПРОГРАММНАЯ_БИБЛИОТЕКА, СЕРВИС, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ_КОМПЛЕКС, ФРЕЙМВОРК }.

Репозиторий включает набор методов и реализующих их программных систем, который может быть дополнен:

I(Метод_ППР) =
{ ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ,
РАССУЖДЕНИЯ_НА_ОСНОВЕ_ПРЕЦЕДЕНТОВ,
РАССУЖДЕНИЯ_НА_ОСНОВЕ_ПРАВИЛ, ВЕРОЯТНОСТНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ,
МЕТОД_НЕДООПРЕДЕЛЕННЫХ_ВЫЧИСЛЕНИЙ,
КОГНИТИВНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ, СОБЫТИЙНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ЭКСПЕРТНОЕ_ОЦЕНИВАНИЕ, АНКЕТИРОВАНИЕ },

I(Программная_система) =
{ CMAP_TOOLS, COLIBRI, GOOGLE_FORMS, SEMP_TAO, NETICA, NEMO+, ИНТЕГРА,
PROTEGE, CLIPS, КО_МОД, GRM_ONTO_MAP, GRM_COG_MAP, GRM_EVENT_MAP,
СИСТЕМА_ЭКСПЕРТНЫЕ_ОЦЕНКИ, SEMP_NEMO, UNICALC,
СЕРВИС_АНАЛИЗА_ЧИСЛОВЫХ_РЯДОВ,
СЕРВИС_ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ_С_ВНЕШНИМИ_ДАННЫМИ },

I(реализует) =
{ ((CMAP_TOOLS, PROTEGE, GRM_ONTO_MAP),
ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ),
(COLIBRI, РАССУЖДЕНИЯ_НА_ОСНОВЕ_ПРЕЦЕДЕНТОВ),
((SEMP_TAO, CLIPS), РАССУЖДЕНИЯ_НА_ОСНОВЕ_ПРАВИЛ),
(NETICA , ВЕРОЯТНОСТНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ),
((GRM_COG_MAP, КО_МОД), КОГНИТИВНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ),
(GRM_EVENT_MAP, СОБЫТИЙНОЕ_МОДЕЛИРОВАНИЕ),
((NEMO+, ИНТЕГРА, SEMP_NEMO, UNICALC),
МЕТОД_НЕДООПРЕДЕЛЕННЫХ_ВЫЧИСЛЕНИЙ),
(СИСТЕМА_ЭКСПЕРТНЫЕ_ОЦЕНКИ, ЭКСПЕРТНОЕ_ОЦЕНИВАНИЕ),
(GOOGLE_FORMS, АНКЕТИРОВАНИЕ) }.

Для разработки репозитория использованы следующие подходы и технологии:

I(используетсяДляРазработки) =
{ ((ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ_ПОДХОД, СЕРВИС_ОРИЕНТИРОВАННЫЙ_ПОДХОД,
ТЕХНОЛОГИЯ_SEMANTIC_WEB, SWRL, SPARQL), РЕПОЗИТОРИЙ) }.

Доступ к репозиторию, к описанию методов и реализующим их программным системам, предоставляется через ИАИР ППР:

I(обеспечиваетДоступ) = { (ИАИР_ППР, РЕПОЗИТОРИЙ) }.

4.4 Методика разработки репозитория

Разработка репозитория предусматривает обоснование новых методов ППР, их реализацию в виде сервисов/программных систем и интеграцию реализованных методов, находящихся в свободном доступе, с ИАИР ППР. Интеграция каждого реализованного метода состоит в создании в контенте ИАИР ППР информационного объекта, описывающего реализующую метод программную разработку, её тип, связи с другими объектами, с инструкциями по применению, IP-адрес, по которому можно запустить сервис или скачать программную систему. Т.е. формально имеем:

Методика_разработки_репозитория_методов_ППР ⊑
∃ предлагает.Алгоритм_разработки_Репозитория ⊓

∃ основываетсяНа.Подход_к_разработке_ИСППР ⊓
∃ использует.Технологиия_реализации_сервиса,

Алгоритм_разработки_ Репозитория ⊑ ∃ включаетДействие.Действие,

Действие ⊑ Разработка_метода_ППР ⊔ Разработка_сервиса ⊔ Интеграция_метода_с_ИАИР_ППР.

5 Архитектура и методика разработки ИСППР

5.1 Архитектура ИСППР

Основным компонентом разрабатываемой ИСППР, её каркасом, на который в виде сервисов будут «нанизаны» интерфейсные и функциональные компоненты, является тематический ИАИР выбранной ПрО. Он разрабатывается по той же технологии, что и ИАИР ППР, с использованием предлагаемой ею оболочки ИНИР. База знаний строится на основе онтологии ПрО. Сервисы, включаемые в архитектуру ИАИР, заимствуются из репозитория методов ППР, а описывающие их информационные объекты – из онтологии ППР и контента ИАИР ППР. Формально имеем:

f(включает) = { (ИСППР, (ОНТОЛОГИЯ_ПРО, ИАИР_ПРО, РЕПОЗИТОРИЙ_МЕТОДОВ_ППР)),
(ИАИР_ПРО, (ОНТОЛОГИЯ_ПРО, КОНТЕНТ_ИАИР_ПРО)) },

f(заимствуетИз) = { (ОНТОЛОГИЯ_ПРО, ОНТОЛОГИЯ_ППР),
(КОНТЕНТ_ИАИР_ПРО, КОНТЕНТ_ИАИР_ППР),
(БИБЛИОТЕКА_СЕРВИСОВ, РЕПОЗИТОРИЙ) }.

На рисунке 8 показаны архитектурные компоненты типовой ИСППР и схема их взаимодействия.

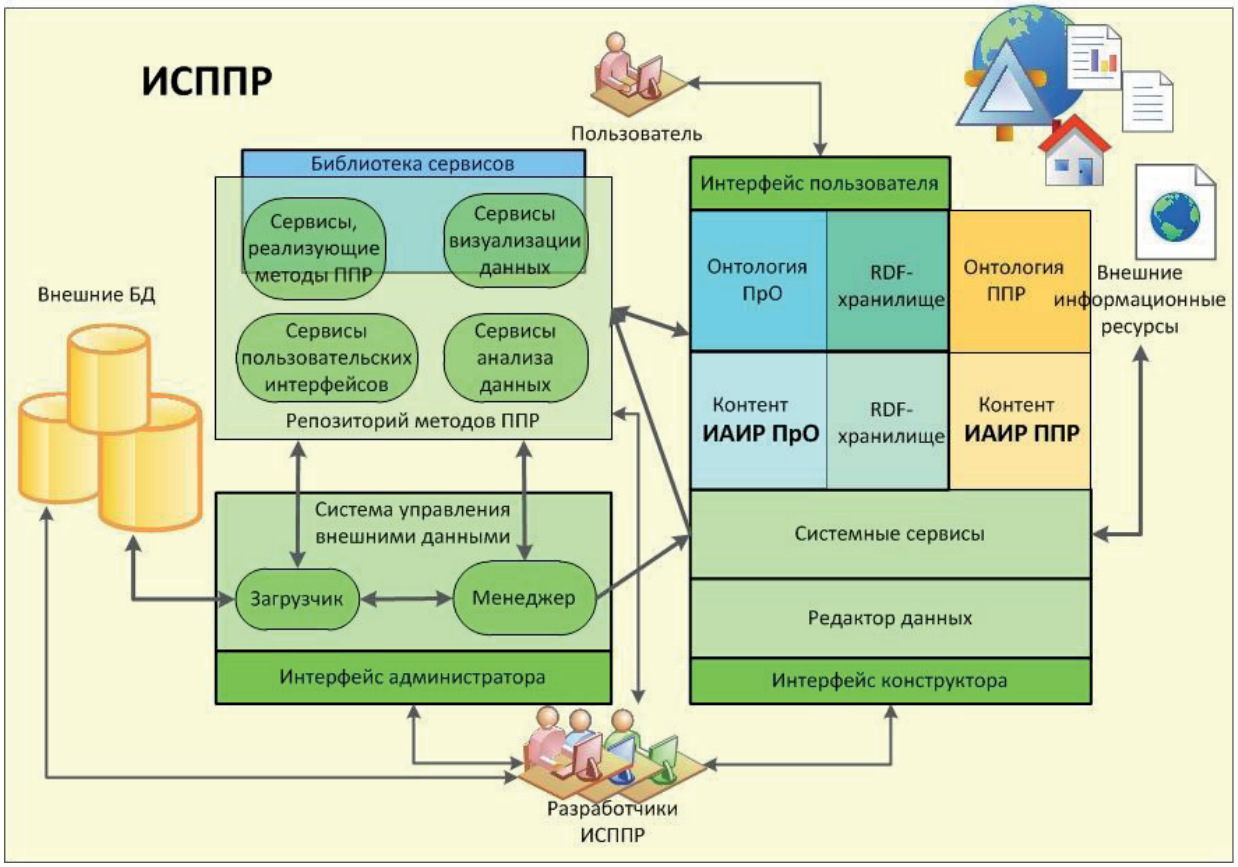


Рисунок 8 – Архитектура типовой ИСППР

5.2 Методика разработки типовой ИСППР

Методика разработки ИСППР включает архитектурное решение (см. рисунок 8) и алгоритм разработки ИСППР, основывается на рассмотренных принципах, подходах, технологиях. Формально это фиксируется следующим образом:

Методика_разработки_ИСППР ⊑
∃ предлагает.[{ АРХИТЕКТУРА_ИСППР } ⊔
{ АЛГОРИТМ_РАЗРАБОТКИ_ИСППР }] ⊓
∃ основываетсяНа.[Принпцип_разработки_ИСППР ⊔
Подход_к_разработке_ИСППР] ⊓
∃ использует.Технология_для_разработки_ИСППР ⊓
∃ реализует.Метод_КПР.

Алгоритм разработки ИСППР включает следующий набор действий:

Алгоритм_разработки_ИСППР ⊑ ∃ регламентирует.Процесс_разработки_ИСППР ⊓
∃ включаетДействие.Действие

f(Действие) =
{ ОПРЕДЕЛИТЬ_ЦЕЛЬ, ПОСТАВИТЬ_ЗАДАЧИ,
ОПРЕДЕЛИТЬ_НАЗНАЧЕНИЕ_ИСППР, ОПРЕДЕЛИТЬ_КРУГ_ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ,
ОПРЕДЕЛИТЬ_ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ_ЛИЦ, ПРИВЛЕЧЬ_ЭКСПЕРТОВ,
СОБРАТЬ_ИНФОРМАЦИЮ, ВЫПОЛНИТЬ_АНАЛИЗ_ПРО,
ОПРЕДЕЛИТЬ_МЕТОДЫ_РЕШЕНИЯ_ЗАДАЧ, ОПРЕДЕЛИТЬ_ГРАНИЦЫ_ПРО,
ВЫБРАТЬ_СРЕДСТВА_ПРЕДСТАВЛЕНИЯ_ЗНАНИЙ,
ВЫБРАТЬ_СРЕДСТВА_ИНТЕРПРЕТАЦИИ_ЗНАНИЙ, ВЫБРАТЬ_БАЗОВЫЕ_ОНТОЛОГИИ,
РАЗРАБОТАТЬ_МОДЕЛЬ_РЕШЕНИЯ_ЗАДАЧ,
СПРОЕКТИРОВАТЬ_ЭЛЕМЕНТЫ_ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО_ИНТЕРФЕЙСА,
РАЗРАБОТАТЬ_ОНТОЛОГИЮ_ПРО, КОНКРЕТИЗИРОВАТЬ_ПОНЯТИЯ_БАЗОВЫХ_ОНТОЛОГИЙ,
ОПИСАТЬ_НЕДОСТАЮЩИЕ_ПОНЯТИЯ,
ВЫРЕЗАТЬ_ИЗ_ОНТОЛОГИИ_ППР_ФРАГМЕНТ_С_ВЫБРАННЫМИ_МЕТОДАМИ,
СКЛЕИТЬ_ОНТОЛОГИЮ_ПРО_И_ФРАГМЕНТ_ОНТОЛОГИИ_ППР,
НАСТРОИТЬ_РАЗРАБОТАТЬ_СЕРВИСЫ_РЕАЛИЗУЮЩИЕ_ВЫБРАННЫЕ_МЕТОДЫ,
НАСТРОИТЬ_РАЗРАБОТАТЬ_СЕРВИСЫ_ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО_ИНТЕРФЕЙСА,
СОЗДАТЬ_АНКЕТЫ_ОПРОСНИКИ, ПОДГОТОВИТЬ_ДАННЫЕ,
СОЗДАТЬ_ИАИР_ПРО, СОЗДАТЬ_КОПИЮ_ОБОЛОЧКИ_ИАИР_ПРО,
ЗАГРУЗИТЬ_ОНТОЛОГИЮ_ПРО_В_ОБОЛОЧКУ_ИАИР,
НАПОЛНИТЬ_КОНТЕНТ_ИАИР_ПРО,
ОПИСАТЬ_НОВЫЕ_РЕАЛИЗОВАННЫЕ_МЕТОДЫ, ОПИСАТЬ_МОДЕЛИ_ЗАДАЧ,
ПОДКЛЮЧИТЬ_СЕРВИСЫ_МЕТОДОВ_ИНТЕРФЕЙСА,
СОСТАВИТЬ_СЦЕНАРИИ_РЕШЕНИЯ_ЗАДАЧ,
СОЗДАТЬ_ИНСТРУКЦИИ_ДЛЯ_ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ,
ПРОВЕСТИ_ТЕСТИРОВАНИЕ_ИСППР }.

Процесс разработки ИСППР включает те же этапы, что и разработка любых интеллектуальных систем [17]. На множестве всех действий определено отношение, определяющее порядок следования действий алгоритма, а также отношение, сопоставляющее этапам разработки ИСППР набор действий, выполняющихся на этих этапах, и отношение, сопоставляющее действию тип разработчика, ответственного за выполнение этого действия (рисунок 9):

Процесс_разработки_ИСППР ⊑ ∃ включаетЭтап.Этап_разработки_ИСППР,

f(Этап_разработки_ИСППР) =
{ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ, ФОРМАЛИЗАЦИЯ,
РЕАЛИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ, ОПЫТНАЯ_ЭКСПЛУАТАЦИЯ },

Действие ⊑ ∃ ≤.Действие,

Действие ⊑ ∃ выполняетсяНаЭтапе.Этап_разработки_ИСППР,

Разработчик ⊑ ∃ отвечаетЗа.Действие.

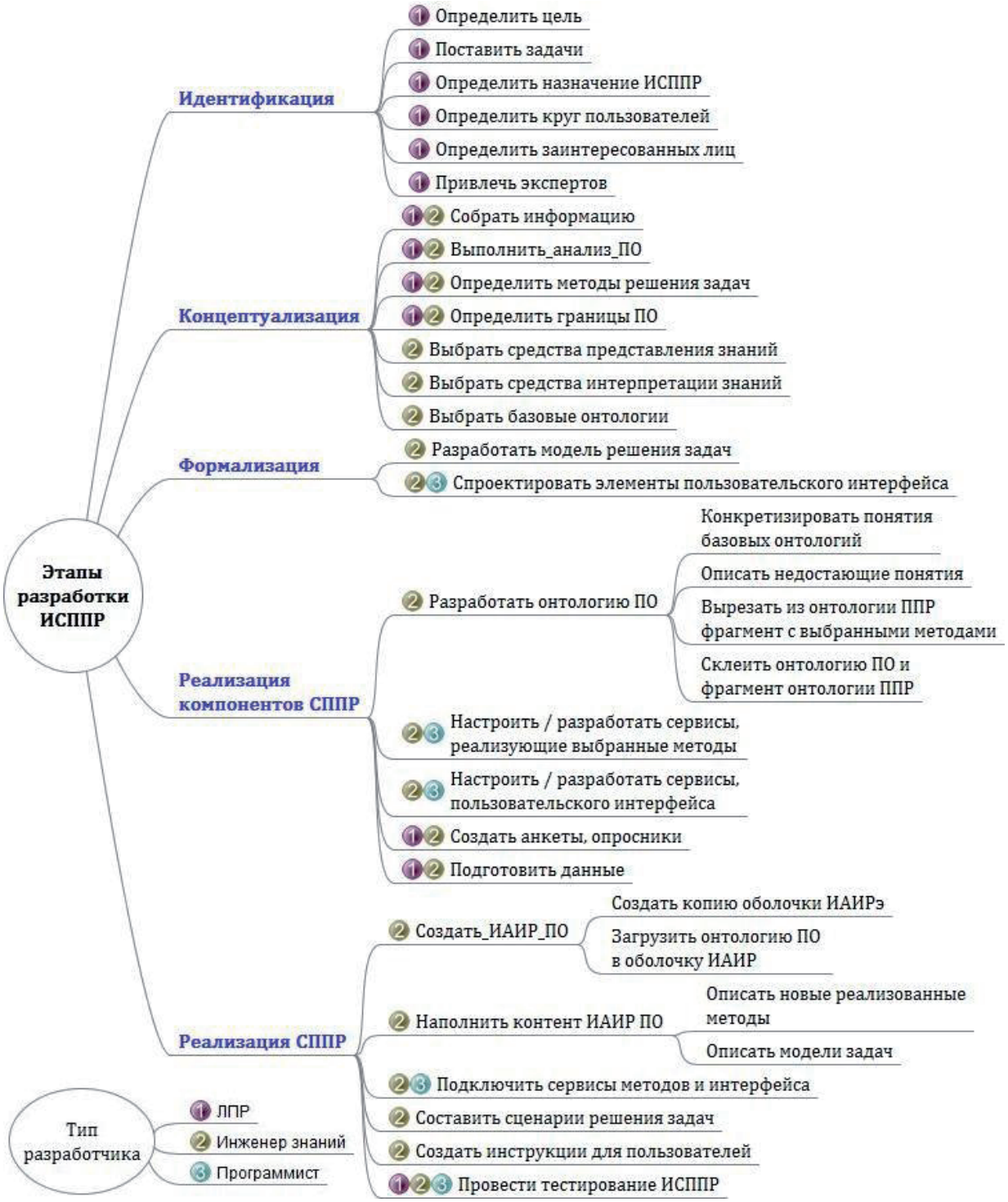


Рисунок 9 – Этапы разработки ИСППР

Заключение

Предложена модель КПР, которая включает концепцию КПР, методику разработки репозитория методов ППР, архитектуру и методику разработки типовой ИСППР, а также зарекомендовавшие себя на практике принципы, подходы, технологии разработки ИСППР:

- Концепция КПР интегрирует потребности разработчиков ИСППР, методы и средства всесторонней поддержки разработчиков на всех этапах создания ИСППР. Основными методами КПР являются способы работы с информацией о методах и аспектах ППР – их систематизация и ОСД к ним, а также к реализациям методов ППР и методике разработки ИСППР. Средствами концептуальной, информационной, компонентной и методической поддержки являются, соответственно, онтология ППР, ИАИР ППР, репозиторий методов ППР и методика разработки ИСППР.
- Методика разработки репозитория основывается на сервис-ориентированном подходе и принципе максимального использования готовых решений. Для включения метода ППР в репозиторий необходимо найти готовую, либо разработать реализующую его программную систему, создать в контенте ИАИР ППР информационные объекты, описывающие метод и программную систему, а также все аспекты их взаимодействия и использования.
- Методика разработки ИСППР включает архитектуру и алгоритм разработки типовой ИСППР и обусловливает следующие её основные особенности: нацеленность на слабоформализованные ПрО; независимость от ПрО; нацеленность на максимальное использование готовых разработок; использование технологий Semantic Web и сервис-ориентированного подхода, технологии разработки ИАИР; использование оболочки ИАИР в качестве каркаса будущей ИСППР; открытость и масштабируемость предлагаемых средств; удобство использования предлагаемых средств.

Благодарности

Статья подготовлена по итогам исследования, проведённого в рамках проекта РФФИ №16-07-00569, проекта программы Президиума Российской академии наук №15/10 и базового проекта ИСИ СО РАН IV.39.1.4.

Список источников

[1] ***Goiry, A.*** A framework for information systems / A. Goiry, M.S. Scott-Morton // Sloan Management Review. - 1971. - 13(1). - P.56-79.

[2] ***Ларичев, О.И.*** Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы развития / О.И. Ларичев, А.Б. Петровский // Итоги науки. Техническая кибернетика. Т. 21. – М.: ВИНИТИ,1987. - С.131-164.

[3] ***Baader, F.*** The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, Applications / F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider. - Cambridge, 2003. - 574 p.

[4] ***Горшков, С.*** Введение в онтологическое моделирование / С. Горшков // ООО «ТриниДата», 2016. - http://trinidata.ru.

[5] ***Черняховская, Л.Р.*** Онтологический подход к разработке систем поддержки принятия решений / Л.Р. Черняховская, Р.А. Шкундина, К.Р. Нугаева // Вестник УГАТУ. - 2006. - Т. 8, №1(17). - С.68-77.

[6] ***Виттих, В.А.*** Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами / В.А. Виттих, П.В. Ситников, С.В. Смирнов // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2009. - №5. - С.45-53.

[7] ***Массель, Л.В.*** Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения / Л.В. Массель // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №2(20). – С.149-161. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.

[8] ***MacKenzie, C.M.*** Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0 / C.M. MacKenzie, K. Laskey, F. McCabe, P.F. Brown, R. Metz. // Committee Specification 1, 2 August 2006. - https://www.oasis-open.org/committees/download.php/19679/soa-rm-cs.pdf.

[9] ***Power, D.J.*** Decision Support Systems Hyperbook / D.J. Power // Cedar Falls, IA: DSSResources.COM, HTML version, 2000. - http://dssresources.com/subscriber/password/dssbook.

[10] ***Garaibeh, N.K.*** DSS Development and Agile Methods: Towards a new Framework for Software Development Methodology / N.K. Garaibeh // International Journal of Machine Learning and Computing. – 2012. - Vol. 2, No. 4.
[11] ***Судаков, В.А.*** Унификация разработки программного обеспечения прикладных СППР / В.А. Судаков, В.П. Осипов // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления. – 2014. – М.: ИПУ РАН. - С.8855-8863.
[12] ***Загорулько, Ю.А.*** Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии / Ю.А. Загорулько, Г.Б. Загорулько, О.И. Боровикова // Программная инженерия. – 2016. - Т. 7, № 2. – С.51-60.
[13] ***Загорулько, Г.Б.*** Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях / Г.Б. Загорулько // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №4(22). - С.485-500. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
[14] ***Hitzler, P.*** Foundations of Semantic Web Technologies / P. Hitzler, V. Krötzsch, S. Rudolph // Chapman & Hal l CRC, 2009. - 455 p.
[15] ***Загорулько, Г.Б.*** Систематизация знаний по теплофизическим свойствам веществ / Г.Б. Загорулько, Ю.И. Молородов, А.М. Федотов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2014. - Том 12, выпуск № 3. - С.48-56.
[16] ***Molorodov, Yu.I.*** Tools for integrating intelligent scientific internet resources with distributed data sources / Yu.I. Molorodov, G.B. Zagorulko, K.E. Vishnev // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. - 2018. - Vol.6. - Is.3. - P.45-52.
[17] ***Попов, Э.В.*** Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Э.В. Попов. – М.: Наука. 1987. – 288 с.

MODEL OF COMPREHENSIVE SUPPORT OF INTELLIGENT DSS DEVELOPMENT

G.B. Zagorulko

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

Abstract

The paper presents a model of comprehensive support for the development of intelligent DSS. The model includes the concept of comprehensive support that describes the needs of developers, methods and means for supporting the development of systems of this class, the structure of the repository of decision-making methods, the architecture of a typical DSS and the methodology for their development. The methodology is based on such principles as the maximum use of ready-made solutions, scalability, accessibility, openness, usability, independence from subject domain, and self-descriptiveness. These principles have proven themselves in practice. Abidance of these principles is ensured by the use of ontological, fractal-stratified, service-oriented and wire-frame approaches, as well as rapid prototyping and flexible development approaches. The methodology involves the use of Semantic Web technology and technology for the development of intelligent scientific Internet resources. Such means of comprehensive support for the development of intelligent DSS as the ontology of the knowledge area "Decision-making Support", the information and analytical Internet resource, the repository of decision-making support methods, and the methodology for developing intelligent DSS are described in detail. It is proposed to use information and analytical Internet resource, which is built on the basis of the ontology of the subject area and the shell proposed by the technology as a framework of future intelligent DSS. The functionality of the DSS under development is provided by using services that are connected to the resource and implement methods stored in the repository. The language of description logics of the SOIN (D) family is used to describe the model of comprehensive support.

Key words: *decision-making support, intelligent DSS, DSS development support, weakly formalized domain, comprehensive support model, description logics.*

Citation: *Zagorulko GB.* Model of comprehensive support of intelligent DSS development [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 462-479. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.

Acknowledgments

This article was carried out as part of the RFBR project No. 16-07-00569, the draft program of the Presidium of the RAS No. 15/10 and the basic project of the Institute of Informatics Systems of the SB RAS IV.39.1.4.

References

[1] ***Goiry A, Scott-Morton MS.*** A framework for information systems. Sloan Management Review. 1971; 13(1): 56-79.
[2] ***Larichev OI, Petrovskij AB.*** Decision support systems. Current status and development prospects [In Russian]. Itogi nauki. Tekhnicheskaya kibernetika; 21. Moscow: VINITI, 1987: 131-164.
[3] ***Baader F, Calvanese D, McGuinness DL, Nardi D, Patel-Schneider PF.*** The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, Applications. Cambridge, 2003.
[4] ***Gorshkov S.*** Introduction to ontology modeling [In Russian]. OOO «TriniData»,2016. - http://trinidata.ru.
[5] ***Chernyahovskaya LR, Shkundina RA. Nugaeva KR.*** Ontological approach to the development of decision support systems [In Russian]. // Vestnik UGATU 2006: 8(1): 68-77.
[6] ***Vittikh VA, Sitnikov PV, Smirnov SV***. Ontological approach to the construction of information-logical models in the management processes of social systems // Herald of computer and information technologies 2009; 5: 45-53.
[7] ***Massel' LV.*** Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application [In Russian]. Ontology of designing. 2016; 6(2): 149-161. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.
[8] ***MacKenzie CM, Laskey K, McCabe F, Brown PF, Metz R.*** Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. Committee Specification 1, 2006. - URL: https://www.oasis-open.org/committees/download.php/19679/soa-rm-cs.pdf (access date: 14.10.2019).
[9] ***Power DJ.*** Decision Support Systems Hyperbook. Cedar Falls, IA: DSSResources.COM. HTML version. 2000. - URL: http://dssresources.com/subscriber/password/dssbook (access date: 14.10.2019).
[10] ***Garaibeh NK.*** DSS Development and Agile Methods: Towards a new Framework for Software Development Methodology. International Journal of Machine Learning and Computing 2012; 2(4).
[11] ***Sudakov VA, Osipov VP.*** Unification of software development of applied DSS [In Russian]. Proc. of the XII All-Russian meeting on management problems. Moscow: 2014: 8855-8863.
[12] ***Zagorulko YuA, Zagorulko GB, Borovikova OI.*** Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology [In Russian]. *Software Engineering* 2016, 7(2): 51-60.
[13] ***Zagorulko GB.*** Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(22): 485-500. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
[14] ***Hitzler P, Krötzsch V, Rudolph S.*** Foundations of Semantic Web Technologies. Chapman & Hal l. CRC, 2009.
[15] ***Zagorulko GB, Molorodov YuI, Fedotov AM.*** Systematization of knowledge on thermophysical properties of substances [In Russian]. Novosibirsk State University Journal of Information Technologies 2014; 12(3): 48-56.
[16] ***Molorodov YuI, Zagorulko GB, Vishnev KE.*** Tools for integrating intelligent scientific internet resources with distributed data sources. Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2018, 6(3):45-52.
[17] ***Popov EV.*** Expert systems: Solving nonformalized tasks in a dialogue with a computer [In Russian]. Moscow: Nauka, 1987.

Сведения об авторе

Загорулько Галина Борисовна, 1963 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет в 1985 г. Научный сотрудник Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, старший преподаватель кафедры программирования Новосибирского государственного университета. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 100 публикаций в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования, поддержки принятия решений.

Galina Borisovna Zagorulko (b.1963) graduated from the Novosibirsk State University in 1985. She is researcher at A.P. Ershov Institute of Siberian Branch of Informatics Systems of Russian Academy of Science (Novosibirsk city), senior lecturer at Novosibirsk State University. She is member of Russian Association of Artificial Intelligence. She is author of more than 100 publications in the field of AI, intelligent system development, knowledge engineering, ontological modeling and decision-making support.

УДК 004.82

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЗДАНИЙ

О.Ю. Марьясин

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия
maryasin2003@mail.ru

Аннотация

Рассматривается разработка онтологических моделей для цифрового двойника зданий. Предлагаемая в статье архитектура цифрового двойника здания включает целый комплекс моделей, среди которых одну из главных ролей играют онтологии. Комплекс онтологий цифрового двойника включает: онтологию информационной модели здания, онтологию энергомодели, онтологию инженерных систем здания, онтологию компьютерных моделей здания, онтологию автоматизированной системы управления зданием и другие. В результате работы был создан набор независимых базовых онтологий, пригодных для повторного использования. Приведены примеры описания классов базовых онтологий и отношений между ними. Модульный принцип построения значительно облегчает создание онтологий цифрового двойника, имеющих пересекающиеся множества понятий и отношений из их предметной области. Используя набор базовых онтологий, можно создать онтологии, необходимые для функционирования цифрового двойника здания. Приводится пример построения онтологии автоматизированной системы управления зданием. Новым является детальная проработка онтологий по сравнению с известными онтологиями, заключающаяся в добавлении новых необходимых классов, подклассов и отношений. Это значительно расширяет возможности описания предметной области. Применение онтологий значительно облегчает обмен данными между встроенными моделями и служебными программами цифрового двойника, а также между цифровым двойником и людьми или внешними программами.

Ключевые слова: *информационная модель здания, энергомодель, цифровой двойник, семантическая паутина, онтология, Protégé.*

Цитирование: *Марьясин, О.Ю.* Разработка онтологий для цифрового двойника зданий / О.Ю. Марьясин // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №4(34). – С.480-495. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-480-495.

Введение

Проект «Умный город», включённый в программу «Цифровая экономика Российской Федерации», предполагает применение современных IT-решений в части формирования комфортной городской среды, жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), градостроительства, безопасности, управления транспортными и пешеходными потоками. Инновационные технологии «Умного города» способны обеспечить принципиальное повышение качества жизни в городах, что особенно важно для небольших городов. Новые технологии позволяют делать города удобными, привлекательными для жизни за счёт цифровой трансформации [1].

«Умный город» включает «Умное ЖКХ», которое, в свою очередь, состоит из «Интеллектуальных зданий» и «Умных домов». «Интеллектуальное здание» может быть определено как здание и его инфраструктура, предоставляющие жителям среду для обитания, которая является гибкой, эффективной, удобной и безопасной благодаря использованию интегрированных в здание технологических систем, средств коммуникации и контроля. Интеллектуальный строительный институт (*The Intelligent Building Institute*, США) определил «Интеллектуальное здание» как энергетически и экономически эффективную среду, основанную на

оптимизации элементов здания - конструкций, инженерных систем, систем обслуживания и управления - и на обеспечении взаимосвязи между этими элементами [2].

1 Описание предметной области

Для чёткого понимания рассматриваемой предметной области (ПрО) необходимо отметить отличия между системами «Умный дом», «Интеллектуальное здание», системами автоматизации зданий (*Building Automation System – BAS*), автоматизированными системами управления зданиями (*Building Management System – BMS*) и системами управления энергопотреблением (*Building Energy Management System – BEMS*). Между этими системами есть много общего. Термины *BAS* и *BMS* можно считать эквивалентными. *BEMS* системы подобны *BMS*, но больше ориентированы на энергосбережение и управление энергопотреблением. Термин «Умный дом» в отличие от термина «Интеллектуальное здание» чаще используется применительно к системам автоматизации в жилом секторе.

В настоящее время при построении «Интеллектуального здания» и управлении его инженерным оборудованием используется ряд перспективных цифровых технологий. Среди них: цифровое строительство (*Digital Construction*), «Интернет вещей» (*Internet of Things – IoT*), облачные технологии (*Cloud Services*). Цифровизация строительства предполагает автоматизацию всех стадий и процедур на всём жизненном цикле (ЖЦ) объекта. Основой цифрового строительства стало развитие технологии информационного моделирования зданий (*Building Information Model – BIM*). *BIM* – это подход к проектированию, возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект. Информационная модель – это ценный источник информации на протяжении всего ЖЦ здания: от предварительной концепции, проекта, строительства и монтажа инженерных систем здания до управления и технического обслуживания объектов [3].

Следующий шаг в цифровом строительстве – создание цифровых двойников зданий (*Digital Twin*). Цифровым двойником называют виртуальную модель, которая на микро- и макроуровне либо описывает реально существующий объект (выступая как дубль готового конкретного изделия), либо служит прототипом будущего объекта. При этом любая информация, которая может быть получена при тестировании физического объекта, должна быть получена и на базе тестирования его цифрового двойника. В концепции цифрового двойника виртуальная модель созданного материального объекта используется в связке с физическим на протяжении всего ЖЦ: на этапе тестирования, доработки, эксплуатации и утилизации. Физический объект использует датчики, которые собирают данные о состоянии объекта в реальном времени, после чего эти сведения отправляются цифровому двойнику. На основе полученных данных уточняется цифровая модель, которая, в свою очередь, даёт рекомендации по оптимизации режима эксплуатации и обслуживания реального объекта [4].

Проблемы сохранения окружающей среды и снижения коммунальных платежей требуют выполнения мер по энергосбережению и повышению энергетической эффективности при проектировании зданий. В то же время необходимо гарантировать комфортную и здоровую среду в помещениях. Всё это создаёт благоприятные условия для более широкого использования моделирования энергопотребления зданий (*BEM – Building Energy Modeling*). Энергомоделирование в России, как и во многих других странах, пока является добровольным делом, если только не нужно сертифицировать здание на соответствие «зелёным» стандартам, таким как *Green Zoom* [5]. Однако при проектировании систем отопления, вентиляции и кон-

дициoнирования (*HVAC – Heating, Ventilation, & Air Conditioning*) приходится выполнять расчёты, связанные с теплообменом, обеспечением качества воздуха в помещениях и энергосбережением.

Сложность строительной инфраструктуры, связанная с множеством различных типов зданий, высокие требования к исполнению и эксплуатации инженерных сетей зданий приводят к тому, что при их проектировании необходимо обеспечить междисциплинарное взаимодействие между различными системами здания для выполнения комплексных расчётов и моделирования. Данные о конструкции и материалах здания из *BIM* должны использоваться для проведения энергомоделирования в *BEM*, а построенные там модели использоваться при проектировании *HVAC* систем. Данные о моделях и *HVAC* оборудовании используются при синтезе системы управления зданием, потом вместе с данными о системе управления при проектировании информационной сети здания и других систем. При этом, большинство операций по передаче данных осуществляются вручную при отсутствии общепринятых форматов передачи информации между многими системами.

Доступ к данным важен не только на этапе проектирования, но и на других этапах ЖЦ здания, таких как строительство, логистика, эксплуатация и реконструкция. При этом для повышения эффективности и удобства работы с информацией необходимо обеспечить, чтобы нужные данные были доступны постоянно и откуда угодно. Для этого необходимо организовать круглосуточный доступ к информации через Интернет.

Технологии семантической паутины (*Semantic Web*), связанных данных (*Linked Data*) или связанных открытых данных (*Linked Open Data – LOD*) [6] позволяют решить указанные проблемы и являются одним из эффективных способов обеспечения интероперабельности между различными системами. При этом базовую роль в стеке технологий семантической паутины играют онтологии. Использование онтологий облегчает совместное использование информации между различными системами, между людьми и программами или между программными агентами, позволяет выполнить отделение знаний в ПрО от оперативных знаний, контролировать целостность и непротиворечивость данных. Онтологии, в отличие от простого обмена данными с помощью форматов *XML* и *JSON*, могут определять не только синтаксис, но и семантику передаваемых данных. Для кодирования онтологий применяются языки *RDF* и *OWL*.

2 Архитектура цифрового двойника здания

В настоящее время концепция цифрового двойника здания ещё только прорабатывается. Автор предлагает свой взгляд на эту концепцию, в соответствии с которым архитектура цифрового двойника здания имеет вид, показанный на рисунке 1. Данная архитектура основана на разработанной в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук архитектуре цифровых двойников энергетических объектов [7].

Цифровой двойник здания должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- включать детальную информацию о конструкции здания, материалах, размерах и т.д. на уровне *CAD*-документации и *BIM*-модели;
- охватывать все основные инженерные подсистемы здания;
- иметь общий словарь терминов для использования людьми и программными агентами;
- иметь связь с *BEM* системами или иметь реализацию функций *BEM*;
- иметь развитые математические возможности, векторно-матричные операции, решение систем дифференциальных уравнений, возможность свободного программирования, создания новых объектов и компонентов, возможность дискретно-событийного, агентного и имитационного моделирования;

- иметь возможность реализации в «облаке»;
- иметь поддержку открытых интерфейсов и протоколов связи с *BMS*, системами мониторинга и *IoT*;
- иметь поддержку *Web*-сервисов;
- иметь графический интерфейс пользователя, *Web*-интерфейс;
- включать развитые средства визуализации, в том числе трёхмерной;
- включать функции параметрической оптимизации, функции анализа данных с использованием статистических и кибернетических методов.

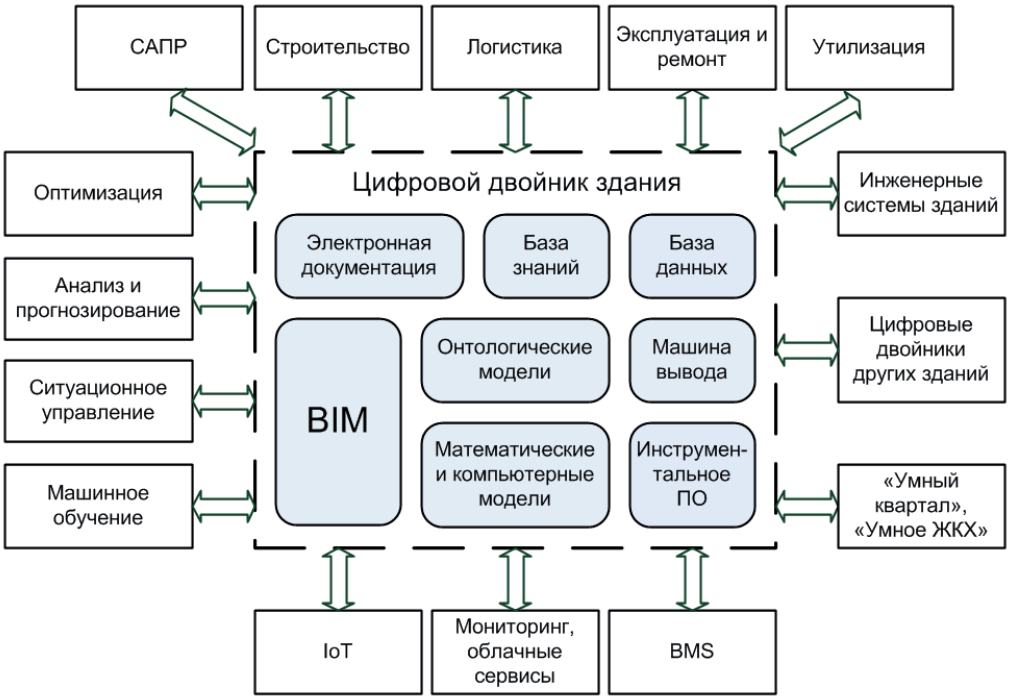


Рисунок 1 – Архитектура цифрового двойника здания

Решения с использованием цифровых двойников строятся на комплексе технологий. Комплекс моделей цифрового двойника зданий включает:

- *CAD*- и *BIM*-модели, которые содержат информацию о конструкции здания, информацию о материалах, размерах и прочих параметрах;
- математические и компьютерные модели, включающие энергомодель здания, модели инженерных систем и систем управления, имитационную модель функционирования здания;
- онтологические модели, содержащие информацию об основных объектах здания и его инженерных систем, базу знаний (БЗ) и машину вывода;
- базу данных (БД) и инструментальное программное обеспечение (ПО).

CAD- и *BIM*-модели составляют ядро цифрового двойника здания. Математические и компьютерные модели позволяют проводить анализ и оптимизацию параметров здания или его энергопотребления на стадиях проектирования и эксплуатации. Онтологии помогают организовать взаимодействие между компонентами цифрового двойника и обмен информацией между цифровым двойником и внешними системами с помощью технологий семантической паутины и связанных данных. Например, различные потребители информации, компьютерные модели, люди или внешние сервисы могут получать данные из онтологий, в том числе, через сеть Интернет с помощью *SPARQL* запросов. БЗ является отдельным компонентом цифрового двойника. БЗ содержит набор фактов и продукционных правил. Она предназначе-

на для реализации экспертных систем продукционного типа, которые помогают осуществлять принятие решений и реализовать ситуационное управление [8]. БД используются для хранения массивов оперативных данных и данных, связанных с предыдущими периодами работы цифрового двойника. Инструментальные средства применяются для решения задач сопровождения цифрового двойника, а также вместе с БД используются для связи с внешними системами, такими как *BMS*, системы мониторинга и *IoT*.

Следует отметить степень готовности различных компонентов и технологий цифрового двойника к настоящему моменту времени. *CAD*- и *BIM*-модели разрабатываются и передаются в цифровой двойник архитекторами и проектировщиками. Различные математические и компьютерные модели цифрового двойника должны быть тесно связаны между собой. Подходы к созданию таких модельных комплексов ещё только формируются. Например, можно отметить интегрированный программный комплекс [9] для моделирования функционирования здания, включающий все перечисленные виды моделей. Такие компоненты цифрового двойника как онтологии и БЗ ещё только начинают создаваться и исследоваться. Пример онтологии для цифрового двойника здания представлен в данной статье. БД и инструментальное ПО зависят от реализации других компонентов цифрового двойника и используемой программной платформы. Создание их это дело ближайшего будущего.

Источниками оперативных данных для цифрового двойника здания служат *BMS*, различные системы: мониторинга, энергоучёта, видеонаблюдения, «Умный дом», «Интернет вещей» и др. В совокупности эти данные позволяют оптимизировать и прогнозировать состояние здания в будущем. Инструментальное ПО позволяет организовать передачу данных между отдельными моделями, между моделями и БД цифрового двойника, между цифровым двойником и внешними системами и приложениями. Комплекс онтологических моделей цифрового двойника включает онтологии: *BIM*-модели, энергомодели, инженерных систем здания, компьютерных моделей здания, *BMS*, *IoT* и др.

3 Технологии интеграции данных в цифровом строительстве

В настоящее время разработан ряд единых форматов передачи данных между различными системами в цифровом строительстве. Так для связи с *BIM* системами международным альянсом *buildingSMART* разработан формат *IFC* (*Industry Foundation Classes*) [10]. Поддержка формата *IFC* стала практически стандартной функцией строительных *CAD* и *BIM* систем. *IFC* поддерживают такие популярные пакеты как *AutoCAD*, *AutoCAD Architecture*, *ArchiCAD*, *Revit* и многие др. Для формата *IFC* в последние годы было предложено несколько вариантов онтологий, из которых *buildingSMART* была рекомендована для применения онтология *ifcOWL* [11]. Онтология *ifcOWL* была разработана так, чтобы обеспечить максимальную совместимость с исходной *IFC* схемой. Появился также свободно-доступный инструмент [12] для конвертации модели *IFC* в граф *RDF Abox*, структурированный в соответствии с *ifcOWL*. Онтология *ifcOWL* и конвертер *IFC* в *RDF* позволили применять технологии семантической паутины, такие как стандартизированные запросы *SPARQL* [13] и методы логического вывода, к моделям *IFC*.

Формат *gbXML* (*Green Building XML*) [14], по сравнению с форматом *IFC*, более удобен для обмена данными между строительными *CAD* и *BIM* системами, с одной стороны, и *BEM* системами, с другой, так как содержит только те данные, которые необходимы для *BEM* систем. Формат *gbXML* поддерживается меньшим числом строительных *CAD* и *BIM* систем, зато поддерживается большим числом *BEM* систем, среди которых *Trace* 700, *DesignBuilder*, *HVAC Solution*, *OpenStudio* и др.

На сегодняшний день наиболее популярной из *BEM* систем является свободно-доступная программа *EnergyPlus* [15]. Применение этой системы стало общепринятой практикой при проведении энергомоделирования зданий.

В [16] предлагается путь для обмена данными между моделями *IFC, gbXML* и *EnergyPlus* через промежуточную модель *SimModel*, являющуюся внутренней моделью программы *Simergy*. Там же предлагается способ конвертации файлов *SimModel* в соответствующие *OWL* онтологии. Существует открытый инструмент для преобразования информации из выходных файлов *EnergyPlus* в *RDF* граф [17].

4 Обзор онтологий ПрО

Разработка онтологий для конкретной ПрО является сложным и трудоёмким процессом. Поэтому целесообразно использование существующих онтологий для той же или близкой ПрО, если они частично покрывают потребности разработчика. В настоящее время разработано много онтологий для систем «Умный дом», *BMS* и связанных с ними ПрО.

Европейский институт телекоммуникационных стандартов создал онтологию *Smart Appliances Reference* (*SAREF*) [18]. Цель *SAREF* – охватить фундаментальные концепции в области интеллектуальных устройств. Онтология включает три основных раздела: об устройствах и их функциях, потреблении/производстве энергии и здании. Базовый класс *Device* онтологии содержит список устройств, например, выключатель света или датчик температуры. С каждым устройством связан определённый набор функций, например, включить/выключить, открыть/закрыть, измерить и т.д. Каждая функция имеет связанные команды, такие как переключение или получение данных измерения. Однако набор доступных устройств, функций и команд очень ограничен. Онтология *SAREF4EE* расширяет *SAREF* для обеспечения совместимости со стандартами *EEBus* и *Energy@Home* [19].

Онтология *Brick* также была разработана на основе *SAREF* [20]. Она охватывает такие типовые подсистемы *BMS*, как система *HVAC* и система освещения, пространственную и энергетическую инфраструктуру здания, а также отношения между этими объектами. Возможные отношения ограничены типами отношений для моделирования пространственных отношений, отношений композиции/агрегации и отношений ввода-вывода.

Онтология *BOnSAI* ориентирована на услуги и веб-сервисы в среде «Умного дома» [21]. Разработанные основные понятия являются либо очень абстрактными, либо специфичными для веб-сервисов. В целом, набор доступных в онтологии типов устройств, функций, местоположений и параметров среды слишком ограничен для коммерческих систем автоматизации зданий.

Для систем «Умный дом» с акцентом на энергосбережение и *BEMS* можно выделить онтологии *DogOnt* [22] и *ThinkHome* [23]. В центре внимания онтологии *DogOnt* находятся системы «Умный дом» и вопросы моделирования энергопотребления устройств. *DogOnt* основана на классификации *DomoML*, которая позволяет описать домашнюю обстановку (стены, мебель), функциональность домашних устройств и их взаимосвязи. В *DogOnt* устройства разделяются на управляемые и неуправляемые. Управляемые устройства имеют состояние и функциональность, которая складывается из блоков, содержащих непрерывные и дискретные функции управления освещением, температурой и другими параметрами.

Онтология *ThinkHome* описывает энергосберегающие системы «Умный дом». Она содержит понятия для описания комфорта, актора (пользователя), процесса, энергии, ресурса (устройства), внешних воздействий (погоды) и структуры здания. Классификация некоторых объектов в *ThinkHome* отличается по сравнению с другими подобными онтологиями.

В области базовых технологий контроля и мониторинга следует отметить онтологии *SSN* (*Semantic Sensor Network*) [24]*, M3* [25]*, OntoSensor* [26]. Онтология *SSN* предложена консорциумом *W3C* для описания ПрО, связанной со сбором данных с помощью датчиков и с процессом наблюдения. Она основана на шаблоне проектирования Стимул – Датчик – Наблюдение и совместима со стандартами *SensorML* и *O&M* (*Observations and Measurements*) консорциума *OGC* (*Open Geospatial Consortium*). Онтология *SSN* описывает датчики как физические объекты, которые наблюдают и преобразуют входные стимулы в другое представление, где под стимулами понимаются изменения состояния измеряемой среды, а наблюдения служат для интерпретации входных стимулов и фиксации таких параметров как время и место. Поскольку онтология *SSN* предоставляет только основные понятия, её необходимо расширять терминами, специфичными для конкретной ПрО. Онтология *M3* является развитием онтологии *SSN* для поддержки описания датчиков, наблюдений и их единиц измерения. Онтология *OntoSensor* расширяет концепции, представленные стандартом *SensorML* для идентификации категорий датчиков, поведения, взаимосвязей, функций и метаданных, касающихся характеристик датчиков, их производительности и надёжности.

«Интернет вещей» тесно связан с рассматриваемой ПрО. Поэтому онтологии «Интернета вещей» также представляют интерес для анализа, в частности онтологии *IoT-lite*, *Open-IoT*, *IoT-O*, *Fiesta-IoT* [24]. *IoT-lite* является облегчённой реализацией *SSN* и включает информацию о датчиках и их местонахождении. Онтология *OpenIoT* также основана на *SSN* и дополняет базовые понятия понятиями, необходимыми для приложений *IoT*. Онтология *IoT-O* является одной из первых попыток к объединению онтологий в области *IoT*. Она повторно использует понятия из онтологий *SSN* и других, дополняя их новыми. Онтология *Fiesta-IoT* является ещё одной попыткой унифицировать существующие онтологии для области *IoT*. Эта онтология представляет собой комбинацию существующих онтологий *IoT* с небольшими обновлениями для преодоления наиболее распространенных проблем, связанных с базовыми онтологиями.

5 Разработка онтологии цифрового двойника зданий

5.1 Требования к онтологиям

К онтологиям цифрового двойника здания предъявляются следующие основные требования:

- включать основные понятия и отношения рассматриваемой ПрО;
- обеспечивать интероперабельность и поддержку взаимодействий между компонентами цифрового двойника;
- быть модульными;
- использоваться в качестве основы при создании и сопровождении БД и БЗ цифрового двойника;
- быть ориентированными на современные методы управления, включая оптимальные, интеллектуальные и мультиагентные системы;
- быть ориентированными на современные программно-аппаратные комплексы для автоматизации зданий на базе различных проводных и беспроводных сетей;
- поддерживать системы «Интернет вещей», технологии работы с Web- и облачными сервисами.

Ни одна из рассмотренных ранее онтологий не удовлетворяет указанным требованиям.

При разработке онтологий можно опираться на метод проектирования *4W1H* (*What/When/Were/Who/How*), в соответствии с которым необходимо ответить на пять вопро-

сов Что/Когда/Где/Кто и Как [27], а также на методологию [28], согласно которой разработка онтологии делится на три основных этапа:

1) выявление ключевых понятий и отношений ПрО, определение и описание понятий онтологии и отношений между ними;
2) кодирование онтологии с использованием формальных языков, например *OWL*;
3) интеграция существующих онтологий.

5.2 Базовые онтологии

Набор базовых онтологий цифрового двойника здания в настоящее время включает:

- онтологию *ifcOWL*;
- онтологию здания, включающую основную информацию о конструкции, внутренней и внешней среде здания;
- онтологию здания *EnergyPlus*, включающую дополнительные классы, относящиеся к конструкции и материалам здания;
- онтологию *HVAC EnergyPlus*, включающую дополнительные классы *EnergyPlus*, относящиеся к *HVAC* оборудованию;
- онтологию, включающую дополнительные классы энергомодели *EnergyPlus*;
- онтологию инженерных систем здания, содержащую информацию об инженерном оборудовании здания и технических устройствах;
- онтологию моделей, предназначенную для поддержки компьютерных моделей цифрового двойника;
- онтологию измерений, описывающую измеряемые параметры и процесс измерения;
- онтологию данных, включающую различные источники и форматы данных, а также онтологию *EXPRESS* (*https://w3id.org/ express*);
- онтологию времени (*http://www.w3.org/2006/time#2016*);
- онтологию, включающую классы для обмена данными с системой *EnergyPlus*;
- онтологию ресурсов, включающую информацию об основных энергоресурсах, их поставщиках и потребителях;
- онтологии мультиагентных систем (*MAS*) и систем, основанных на правилах, предназначенные для поддержки интеллектуальных систем управления;
- онтологию, предназначенную для поддержки сетей передачи данных на базе различных проводных и беспроводных протоколов;
- онтологию сервисов;
- онтологию пользователей, содержащую информацию о пользователях, их семьях, их домашних питомцах, их предпочтениях, профилях и т.д.;
- онтологию задач и повседневных домашних дел;
- онтологию бытовой техники, мебели и предметов интерьера.

Из упомянутых онтологий только онтология *ifcOWL*, онтология времени и онтология *EXPRESS* являются стандартными онтологиями, остальные онтологии разработаны автором.

Онтология *ifcOWL* в виду её сложности и большого размера во многих случаях непосредственно не используется для формирования онтологий, а необходимые данные из неё транслируются в онтологию здания и онтологию здания *EnergyPlus*.

Часть онтологий проработаны подробно, другие включают только основные понятия. Число базовых онтологий может быть изменено.

5.3 Классы базовых онтологий

Класс *Environment* онтологии здания представляет собой среду здания. Он включает классы: *IndoorEnvironment*, представляющий внутреннюю среду здания, *OutdoorEnvironment* представляющий внешнюю среду, *BuildingEnvironment*, включающий элементы конструкции здания (*BuildingElement*) и его внутреннее пространство (*BuildingSpace*), *EnvironmentalConditions*, включающий основные параметры внутренней среды здания, такие как температура, влажность, освещенность и концентрация CO_2. Онтограф для класса *Environment* показан на рисунке 2. Класс *BuildingEnvironment* эквивалентен классу *Building*. Класс *BuildingElement* содержит классы *Construction, Door, Floor, Material, Roof, Surface, Wall, Window* и др, выровненные с одноименными классами *EnergyPlus*. Класс *BuildingSpace* эквивалентен классу *BuildingLocation*. Он содержит классы *Area, Basement*, *Room, Stage, Zone* и др. При этом классы *Room* и *Zone* выровнены с соответствующими классами *EnergyPlus*.

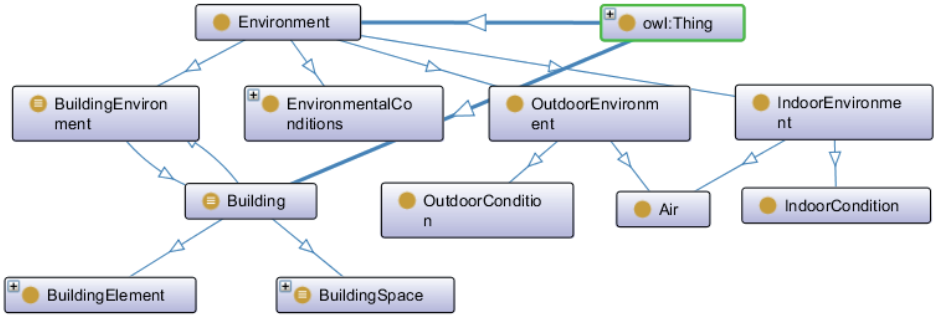


Рисунок 2 – Онтограф для класса *Environment*

Класс *Location* онтологии здания предназначен для описания местоположения. Он включает подклассы *BuildingLocation,* эквивалентный классу *BuildingSpace,* и *Outside,* эквивалентный классу *OutdoorEnvironment*. Класс *BuildingLocation* включает множество зон здания, таких как этажи, комнаты, коридоры, пристройки, террасы, балконы и др., а также различные поверхности – полы, потолки, стены и др. Класс комнаты в свою очередь включает различные виды комнат, такие как столовые, кухни, спальни, ванные, гостиные, кабинеты, кладовки и др.

Класс *Equipment* онтологии инженерного оборудования включает классы инженерных систем здания: *HVAC_System* для системы отопления, вентиляции и кондиционирования, *Electrical_System* для системы электроснабжения, *Lighting_System* для системы освещения, *Water_System* – системы водоснабжения, *Gas_System* – системы газоснабжения, *Security_System* – системы безопасности, *Control_System* – системы управления зданием, *IT_System* – информационной системы здания, а также класс *EquipmentParameters* для параметров инженерного оборудования. Онтограф для класса *Equipment* показан на рисунке 3.

Каждый класс инженерных систем включает классы основного инженерного оборудования соответствующих систем. Наиболее проработанным классом онтологии инженерного оборудования является класс *HVAC_System*, поскольку к базовым классам этого класса *Boiler, Heat_Exchanger, Heater, Pipe, Pump, Radiator, Chiller, Coil, Fan* добавлены классы инженерного оборудования системы *EnergyPlus,* что существенно облегчает выполнение обмена данными при энергомоделировании.

Класс *MeasurementProperty* онтологии измерений представляет основные измеряемые физические свойства, используемые различными системами контроля, мониторинга и инженерным оборудованием. Он включает такие параметры как температура, давление, расход, энтальпия, скорость, ток, напряжение, частота и др.

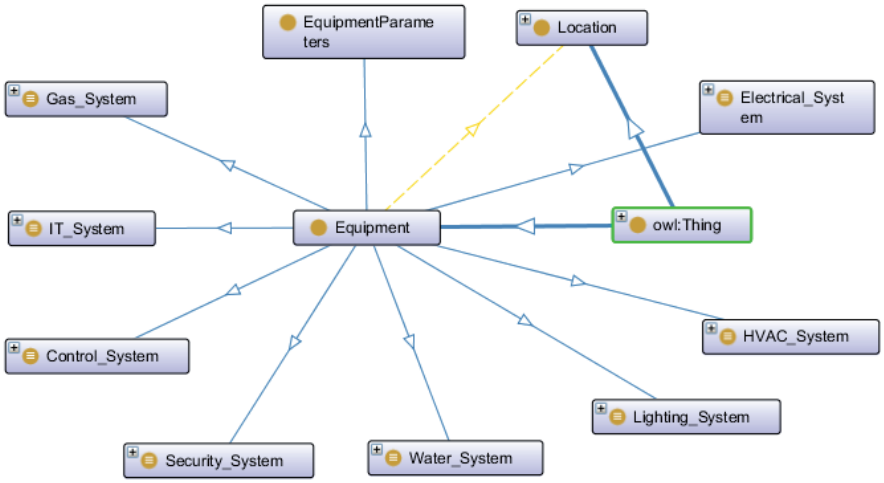


Рисунок 3 – Онтограф для класса *Equipment*

Класс *Data* из онтологии данных содержит классы *DataSource, DataStorage* и *DataType*, предназначенные для хранения и представления информации. Класс *DataSource* включает классы *Document, File, Package, DataBase*, а класс *DataType* содержит описание основных типов данных. Онтология выровнена по основным типам данных *Binary, Boolean, Integer, Number, Real* и другим с онтологией *EXPRESS*.

Класс *Resource* онтологии ресурсов представляет основные ресурсы здания. Он включает классы *ResourceType* для обозначения видов ресурсов, *ResourceProvider* для поставщиков ресурсов, *ResourceConsumer* для потребителей ресурсов и класс *ResourceParameters* для параметров ресурсов. Класс *ResourceType* включает электроэнергию, воду, газ и др. Онтограф для класса *Resource* показан на рисунке 4.

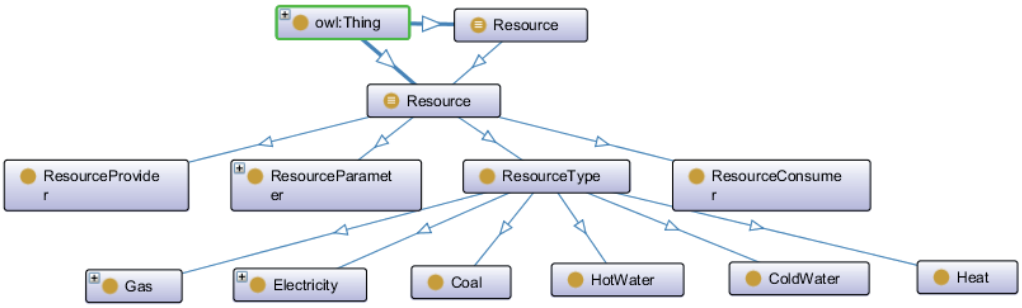


Рисунок 4 – Онтограф для класса *Resource*

Класс *User* онтологии пользователей предназначен для описания пользователей. Он включает классы *UserProperties,* содержащий характеристики пользователя, класс *UserPreferences* для описания предпочтений пользователя, класс *UserFamily* для описания семьи и класс *UserProfile* для профиля пользователя. Класс *UserProperties* включает такие характеристики пользователя, как имя, фамилия, возраст, пол, рост, вес и др. Класс *UserFamily* описывает различные отношения родства между членами семьи.

Класс *Agent* онтологии *MAS* предназначен для поддержки *MAS* управления зданием. Совместно с классами *Event, Goal, Message, Service, Task* и др. этот класс позволяет достаточно полно описать ПрО *MAS*. Мультиагентная архитектура всё чаще используется для построения *BMS* здания [29]. Класс *Agent* включает подклассы *LocalAgent, ZonalAgent, Cen-*

tralAgent, HumanAgent, ProviderAgent, IndoorAgent, OutdoorAgent. Такая структура класса *Agent* соответствует принятой в [30] классификации агентов *MAS* управления зданием.

Классы *Fact, Slot, MultiSlot, LHS, RHS* вместе с общими классами *Function, Class, Object, Method* и др. используются для поддержки интеллектуальных систем, основанных на правилах. Они применяются для установления логической связи между онтологией и экспертной системой продукционного типа. В дальнейшем планируется использовать данные классы для генерации фактов и определения структуры правил БЗ экспертной системы.

Классы *Bus, DataPoint, DPTField, FunctionPoint* совместно с классами *Address, Data, Function, NetworkProtocol* и др. применяются для поддержки систем автоматизации на базе современных коммуникационных протоколов типа *KNX*. Шина *KNX* сейчас широко используется в качестве основного сетевого протокола в *BMS*. Классы этой группы, а также множество других классов онтологии, таких как *Sensor, Point, Device, NetworkDevice, MobileDevice, Network, WiredNetwork, WirelessNetwork, Service, CloudStorage, Software* и др. могут использоваться для связи цифрового двойника с *BMS*, системами мониторинга и *IoT*.

5.4 Пример реализации онтологии в Protege

Модульный принцип построения значительно облегчает создание онтологий цифрового двойника, имеющих пересекающиеся множества понятий и отношений в ПрО. Требуемая онтология может быть построена путём объединения и выравнивания базовых онтологий. Используя набор базовых онтологий, можно создать онтологию *BMS*, онтологию *BEMS*, онтологию компьютерных моделей здания, онтологию *IoT* и др.

Например, онтология *BMS* включает большинство базовых онтологий за исключением онтологии *ifcOWL* и онтологий, относящихся к системе *EnergyPlus*. Фрагмент иерархии классов онтологии *BMS* в редакторе *Protégé* показан на рисунке 5. Структура классов онтологии включает следующие основные классы: *Agent, Appliances, Building, Data, Device, Environment, Equipment, Event, Location, MeasurementProperty, Message, Point, Resource, State, TechnicalSystem, User* и др.

Для классов и их индивидуальностей в онтологии определено множество свойств (отношений). Часть их них представлена на рисунке 6.

Например, объекты класса *Sensor* связаны отношением *hasMeasurement* с объектами класса *MeasurementProperty*. Это отношение устанавливает связь между датчиком и измеряемым параметром. Свойство *hasMeasurement* имеет обратное свойство *isMeasuredBy*, связывающее объекты класса *MeasurementProperty* с объектами класса *Sensor*. В онтологии имеется много подобных инверсий свойств. Часть свойств унаследована от базовых онтологий. Другая часть устанавливает отношения между объектами из разных базовых онтологий. Примером таких отношений может служить упомянутое отношение *hasMeasurement*, устанавливающее связь между объектом датчик из онтологии инженерных систем здания с объектом класса *MeasurementProperty* онтологии измерений. В качестве другого примера можно привести отношение *hasLocation*, которое устанавливает связь между объектом класса *Equipment* онтологии инженерных систем с объектом класса *Location* онтологии здания.

Можно отметить сходства и различия полученной онтологии *BMS* с существующими онтологиями, описанными в разделе 4. Сходство с *SAREF* заключается в наличии одинаковых классов *Command, Device, Function, Property, Service, State, Task*. Однако реализация классов *Device, Function, Service, Task* иная, классы *Command* и *State* существенно расширены и дополнены, а классу *Property SAREF* соответствует класс *MeasurementProperty* онтологии. Структура классов *Equipment, Location, MeasurementProperty* представленной онтологии частично совпадает со структурой аналогичных классов онтологии *Brick*, однако общая организация онтологии и реализация класса *Point* иные.

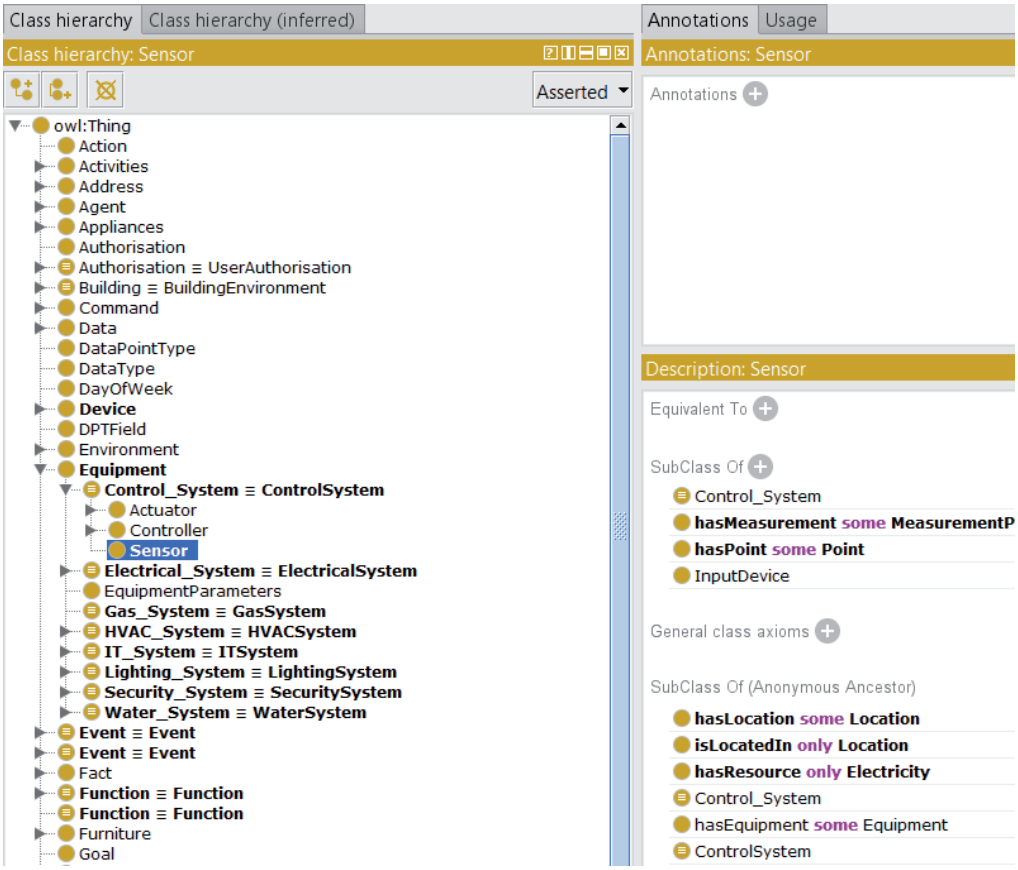


Рисунок 5 – Фрагмент иерархии классов в *Protégé*

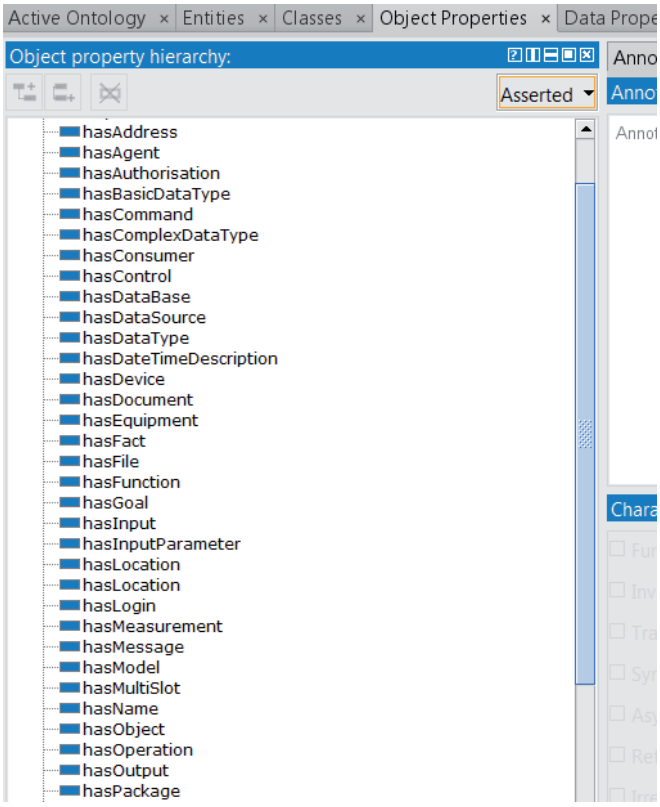


Рисунок 6 – Отношения онтологии

С онтологией *BOnSAI* разработанную онтологию сближает наличие большого числа общих классов *Action, Environment, Hardware, Location* и др. Однако большинство из них в *BOnSAI* лишь обозначены. С онтологией *DogOnt* также имеются общие классы *Command, Device, Environment* и др. При этом структура классов *Environment, State, StateValue, TechnicalSystem* частично похожа. Общими классами с онтологией *ThinkHome* являются классы *BuildingEnvironment, Room, Command, State, StateValue*. Их структура частично совпадает со структурой аналогичных классов разработанной онтологии. Из онтологий *IoT*, основанных на *SSN*, по степени проработанности и охвату ПрО справедливо сравнение только с онтологией *IoT-O*. Эта онтология также является модульной и включает в себя набор онтологий, среди которых есть и *DogOnt*. При наличии большого числа общих классов различия между *IoT-O* и разработанной онтологией достаточно очевидны.

Заключение

Рассмотрена разработка онтологических моделей для цифрового двойника здания. Создан набор независимых онтологий, пригодных для повторного использования. На основе базовых онтологий можно создать онтологию *BMS*, онтологию *BEMS*, онтологию компьютерных моделей здания, онтологию *IoT* и другие онтологии, необходимые для функционирования цифрового двойника здания.

К достоинствам созданных онтологий можно отнести детальную проработку таких классов как *Environment, Equipment, Event, Location, Resource, User* и др. Структура этих классов существенно изменена по сравнению с онтологиями, описанными в разделе 4, путём добавления новых необходимых подклассов и отношений. Для поддержки интеллектуальных систем управления на базе экспертных систем продукционного типа и *MAS* были добавлены классы *Fact, Rule, Slot, MultiSlot, Agent, Event, Goal, Message, Service, Task* и др. Для поддержки систем автоматизации на базе современных коммуникационных протоколов типа *KNX* и систем «Интернет вещей» были добавлены классы *Address, Bus, CloudStorage, Data, DataPoint, DPTField, Function, FunctionPoint, Network, NetworkProtocol* и др. Это значительно повышает возможности описания ПрО и применения онтологий.

Использование онтологий позволяет организовать эффективный механизм обмена информации между встроенными моделями и инструментальными программами цифрового двойника, между цифровым двойником и людьми или внешними программами. Онтологии, в отличие от простого обмена данными с помощью форматов *XML* и *JSON*, могут определять не только синтаксис, но и семантику передаваемых данных. Различные потребители информации, компьютерные модели, люди или внешние сервисы могут получать данные из онтологий, в том числе, через сеть Интернет с помощью *SPARQL* запросов. Онтологии также являются удобным базисом для разработки БЗ и структуры БД цифрового двойника зданий.

Список источников

[1] ***Табунщиков, Ю.А.*** Цифровизация экономики – тенденция глобального масштаба / Ю.А. Табунщиков - М.: Энергосбережение, 2018, № 7. - С.4–10.

[2] ***Ролсон, О.К.*** Интеллектуальные здания: масштабируемые структурированные сети, Интернет вещей и энергоэффективность / О'Нил Кинг Ролсон. - М.: Энергосбережение, 2018, № 7. - С.22–24.

[3] ***Капустин, П.В.*** Онтологические вопросы в кастомизированном архитектурном онлайн проектировании персонализированных жилых домов / П.В. Капустин, Д.М. Канин, И.Л. Чураков // Онтология проектирования, 2015, № 3, С.256-277. - DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-3-256-277.

[4] ***Прохоров, А.*** Цифровые двойники. Концепция развивается. - http://data.cnews.ru/articles/2018-04-18_tsifrovye_dvojniki_kontseptsiya_razvivaetsya.

[5] Green Zoom. - https://www.greenzoom.ru/.

[6] Semantic Web-W3C. - https://www.w3.org/standards/semanticweb/.
[7] ***Ковалев, С.П.*** Проблемы цифрового проектирования энергетических систем. Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2018): тезисы докл. 18-ой междунар. конфер. - М.: ИПУ РАН, 2018. - С.16.
[8] ***Поспелов, Д.А.*** Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука, 1986. - 288 с.
[9] ***Марьясин, О.Ю.*** Программный комплекс для моделирования инженерных систем зданий. Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2018). - М.: ИПУ РАН, 2018. - С. 24-27.
[10] IFC-Industry Foundation Classes. - http://www.ifcwiki.org/ index.php?title=IFC_Wiki.
[11] ***Pauwels, P.*** EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology / P. Pauwels, W. Terkaj // Automation in Construction, № 63, 2016. - P.100-133.
[12] IFCtoRDF-Desktop. - https://github.com/jyrkioraskari/IFCtoRDF-Desktop.
[13] SPARQL Query Language for RDF. - https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/.
[14] Green Building XML. - http://www.gbxml.org/index.html.
[15] EnergyPlus. - https://energyplus.net/.
[16] ***Pauwels, P.*** Representing SimModel in the Web Ontology Language / P. Pauwels, E. Corry, J. O'Donnell // Proc. International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings, 2014.
[17] GitHub-IMI-KIT/eplus-lod: Provides EnergyPlus I/O interoperability via semantic web technologies. - https://github.com/IMI-KIT/eplus-lod.
[18] ***Daniele, L., den Hartog, F., Roes, J.*** Study on Semantic Assets for Smart Appliances Interoperability, 2015.
[19] ***Daniele, L.*** Interoperability for Smart Appliances in the IoT World / L. Daniele, M. Solanki, F. den Hartog, J. Roes // International Semantic Web Conference, Springer, 2016. - P.21-29.
[20] ***Balaji, B.*** Brick: Towards a unified metadata schema for buildings / Balaji B., Bhattacharya A., Fierro G., Gao J., Gluck J., Hong D., Johansen A., Koh J., Ploennigs J., Agarwal Y., Berges M., Culler D., Gupta R., Kjærgaard M.B., Srivastava M., Whitehouse K. // Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments. New York, USA: ACM, 2016. - P.41-50.
[21] ***Stavropoulos, T.G.*** Bonsai: A smart building ontology for ambient intelligence / T.G. Stavropoulos, D. Vrakas, D. Vlachava, N**.** Bassiliades // Proceedings of the 2Nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. New York: ACM, 2012. - P.263-274.
[22] ***Butzin, B.*** A survey on information modeling and ontologies in building automation / B. Butzin, F. Golatowski, D. Timmermann // 43 Annual Conference of the IEEE, 2017. - P.1-7.
[23] ***Kofler, M. J.*** A semantic representation of energy-related information in future smart homes / M. J. Kofler, C. Reinisch, W. Kastner // Energy and Buildings, vol. 47, 2012. - P.169 -179.
[24] ***Bajaj, G.*** A study of existing Ontologies in the IoT-domain / G. Bajaj, R. Agarwal, P. Singh, N. Georgantas, V. Issarny // arXiv preprint, arXiv:1707.00112, 2017. - P.1-24.
[25] ***Gyrard, A.*** Machine-to-Machine Data with Semantic Web Technologies for Cross-Domain Applications / A. Gyrard, C. Bonnet, K. Boudaoud // IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, 2014, pp.559-564.
[26] ***Xue, L.*** An Ontology based Scheme for Sensor Description in Context Awareness System / L. Xue, Y. Liu, P. Zeng, H. Yu, Z. Shi // Information and Automation, 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015. - P.817-820.
[27] ***Zhang, D.*** 4W1H in Mobile Crowd Sensing / D. Zhang, L. Wang, H. Xiong, B. Guo // IEEE Communications Magazine, 52 (8), 2014. - P.42-48.
[28] ***Uschold, M.*** Towards methodology for building ontologies / M. Uschold, M. King // Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Canada, 1995. - P.1-15.
[29] ***Yang R, Wang L.*** Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. Energy and Buildings, 2013, P.1-7.
[30] ***Марьясин, О.Ю.*** Проектирование мультиагентной системы управления зданием с использованием онтологий / О.Ю. Марьясин // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С.387-399.

DESIGN OF ONTOLOGIES FOR THE DIGITAL TWIN OF BUILDINGS

O.Yu. Maryasin

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
maryasin2003@mail.ru

Abstract

The article describes the design of ontological models for the digital twin of buildings. The architecture of the digital twin of buildings proposed in the article includes a whole complex of models, among which ontologies play one of the main roles. The set of digital twin ontologies includes: ontology of the building information model, ontology of the energy model, ontology of building engineering systems, ontology of building computer models, ontology of the building management system and others. As a result of the work, a whole set of independent basic ontologies was created, suitable for reuse. The paper describes the classes of basic ontologies and their inter-class relations. The modular construction principle greatly facilitates the creation of digital twin ontologies that have intersecting sets of concepts and relationships from their subject area. Using a set of basic ontologies, it is possible to create the ontologies necessary for the functioning of the digital twin of buildings. The article provides an example of design of ontology of an automated building management system. The paper's novelty is in the detailed description of ontologies compared to well-known ontologies, having new necessary classes, subclasses, and relationships added. This greatly expands the scope of the description of the subject area. Ontologies significantly facilitate data exchange between the embedded models and the service programs of the digital twin, as well as between the digital twin and users or external software.

Key words: *building information model, energy model, digital twin, semantic web, ontology, Protégé.*

Citation: *Maryasin O.Yu.* Design of ontologies for the digital twin of buildings [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 480-495. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-480-495.

References

[1] ***Tabunshchikov YuA***. Digitalization of the economy is a global trend [In Russian]. Energy saving publ. 2018; 7: 4–10.
[2] ***Rawlson OK.*** Smart Buildings: Scalable Structured Networks, Internet of Things, and Energy Efficiency [In Russian]. Energy saving publ. 2018; 7: 22–24.
[3] ***Kapustin PV, Kanin DM, Churakov IL.*** The ontological questions of personalize homes customized architectural online designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2015; 5(3): 256-277. - DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-3-256-277.
[4] ***Prokhorov A.*** Digital Twins. An Evolving Concept [In Russian]. - http://data.cnews.ru/articles/2018-04-18_tsifrovye_dvojniki_kontseptsiya_razvivaetsya.
[5] GREEN ZOOM. - https://www.greenzoom.ru/.
[6] Semantic Web-W3C. - https://www.w3.org/standards/ semanticweb/.
[7] ***Kovalev SP.*** Problems of digital design of energy systems [In Russian]. Systems for designing, technological preparation of production and life cycle management of an industrial product (CAD/CAM/PDM - 2018): Proc. of the 18th Int. Conf. Moscow: ICS RAS Publ., 2018. - P.16.
[8] ***Pospelov DA.*** Situational control: theory and practice [In Russian]. Moscow, Nauka Publ., 1986. - 288 p.
[9] ***Maryasin OYu.*** The software package for the simulation of engineering systems of buildings [In Russian]. Systems for designing, technological preparation of production and life cycle management of an industrial product (CAD/CAM/PDM - 2018): Proc. of the 18th Int. Conf. Moscow: ICS RAS Publ., 2018. - P.24-27.
[10] IFC-Industry Foundation Classes. - http://www.ifcwiki.org/ index.php?title=IFC_Wiki.
[11] ***Pauwels P, Terkaj W.*** EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology // Automation in Construction, 2016; 63.
[12] IFCtoRDF-Desktop. - https://github.com/jyrkioraskari/IFCtoRDF-Desktop.
[13] SPARQL Query Language for RDF. - https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/.
[14] Green Building XML. - http://www.gbxml.org/index.html.
[15] EnergyPlus. - https://energyplus.net/.

[16] ***Pauwels P, Corry E, O'Donnell J.*** Representing SimModel in the Web Ontology Language // Proc. International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings, 2014.
[17] GitHub-IMI-KIT/eplus-lod: Provides EnergyPlus I/O interoperability via semantic web technologies. - https://github.com/IMI-KIT/eplus-lod.
[18] ***Daniele L, den Hartog F, Roes J.*** Study on Semantic Assets for Smart Appliances Interoperability, 2015.
[19] ***Daniele L, Solanki M, den Hartog F, Roes J.*** Interoperability for Smart Appliances in the IoT World // in: International Semantic Web Conference, Springer, 2016, pp. 21-29.
[20] ***Balaji B, Bhattacharya A, Fierro G, Gao J, Gluck J, Hong D, Johansen A, Koh J, Ploennigs J, Agarwal Y, Berges M, Culler D, Gupta R, Kjærgaard MB, Srivastava M, Whitehouse K.*** Brick: Towards a unified metadata schema for buildings // In Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments. New York, USA: ACM, 2016, pp. 41–50.
[21] ***Stavropoulos TG, Vrakas D, Vlachava D, Bassiliades N.*** Bonsai: A smart building ontology for ambient intelligence // In Proceedings of the 2Nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. New York: ACM, 2012, pp. 263-274.
[22] ***Butzin B, Golatowski F, Timmermann D.*** A survey on information modeling and ontologies in building automation, 43 Annual Conference of the IEEE, 2017.
[23] ***Kofler MJ, Reinisch C, Kastner W.*** A semantic representation of energy-related information in future smart homes // Energy and Buildings, 2012; 47: 169 -179.
[24] ***Bajaj G, Agarwal R, Singh P, Georgantas N, Issarny V.*** A study of existing Ontologies in the IoT-domain // arXiv preprint, arXiv:1707.00112, 2017.
[25] ***Gyrard A, Bonnet C, Boudaoud K***. Machine-to-Machine Data with Semantic Web Technologies for Cross-Domain Applications // IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, 2014, pp. 559-564.
[26] ***Xue L, Liu Y, Zeng P, Yu H, Shi Z***. An Ontology based Scheme for Sensor Description in Context Awareness System // Information and Automation, 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015, pp. 817-820.
[27] ***Zhang D, Wang L, Xiong H, Guo B***. 4W1H in Mobile Crowd Sensing // IEEE Communications Magazine, 2014; 52(8): 42-48.
[28] ***Uschold M, King M.*** Towards methodology for building ontologies // Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Canada, 1995.
[29] ***Yang R, Wang L.*** Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. Energy and Buildings, 2013. - P.1–7.
[30] ***Maryasin OYu.*** Design of multi-agent building management system with ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 387-399.

Сведения об авторе

Марьясин Олег Юрьевич, 1964 г. рождения. Окончил Ярославский политехнический институт в 1986 г., к.т.н. (1992). Доцент кафедры «Кибернетика» Ярославского государственного технического университета. Член Российской ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике (АВОК). В списке научных трудов более 50 работ в области автоматизации технических систем, автоматизации инженерных систем зданий, компьютерного моделирования и оптимизации сложных систем.

Oleg Yurevich Maryasin (b. 1964) graduated from the Yaroslavl Polytechnic Institute (Yaroslavl-city) in 1986, PhD (1992). He is Associate Professor at Yaroslavl State Technical University (Department of Cybernetics). He is a member of Russian Association of engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply and building thermal physics (АВОК). He is the co-author of more than 50 publications in the field of automation of technical systems, automation of building engineering systems, complex systems simulation and optimization.

УДК 004.82:004.89:519.816

МОДЕЛИРОВАНИЕ АРГУМЕНТАЦИИ В НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОМ ДИСКУРСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ

Ю.А. Загорулько[1,a], Н.О. Гаранина[1,b], О.И. Боровикова[1,c], О.А. Доманов[2,d]

[1] *Институт систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия*
[a]*zagor@iis.nsk.su,* [b]*garanina@iis.nsk.su,* [c]*olesya@iis.nsk.su*

[2] *Институт философии и права Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия*
[d]*odomanov@gmail.com*

Аннотация

Научно-популярный дискурс становится неотъемлемым элементом научной деятельности, так как выступает в качестве медиатора, обеспечивающего коммуникацию между научным сообществом и широкой аудиторией. Поэтому необходимо, чтобы тексты научно-популярных книг и статьи содержали аргументацию высокого качества. В связи с этим исследование аргументации, представленной в научно-популярной литературе, является актуальной задачей. В статье предложен подход к моделированию аргументации, используемой в научно-популярной литературе. Такое моделирование выполняется с использованием средств онтологии аргументации, основанной на формате AIF (Argument Interchange Format), принятом международным сообществом в качестве стандартной нотации для описания аргументов и аргументативных структур. Авторы дополнили эту онтологию средствами, необходимыми для моделирования аргументации, используемой в научно-популярном дискурсе. Новые средства позволяют моделировать целевую аудиторию и представлять содержание утверждений, входящих в аргументы. В терминах расширенной онтологии описываются общепризнанные и оригинальные схемы аргументации, их значимость для различных аудиторий, структура и составные части аргументов, а также могут представляться конкретные аргументы, извлечённые из исследуемых текстов, и их составные элементы. Онтология аргументации с такими свойствами описывается впервые. Данная онтология используется в качестве информационной модели программного комплекса, предназначенного для моделирования и анализа аргументации, используемой в научно-популярной литературе.

Ключевые слова: *научно-популярный дискурс, моделирование, аргументация, схема аргументации, средства анализа аргументации, онтология.*

Цитирование: *Загорулько, Ю.А.* Моделирование аргументации в научно-популярном дискурсе с использованием онтологий / Ю.А. Загорулько, Н.О. Гаранина, О.И. Боровикова, О.А. Доманов // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4 (34). - С.496-509. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-496-509.

Введение

Важным фактором развития современной науки является наличие доверия к ней со стороны общества и государства. Наука становится сложнее, проблемы, которые она решает – специфичнее, воспринимать и оценивать результаты научной деятельности для неподготовленной аудитории становится труднее. Ситуация, в которой учёный должен представлять свои научные идеи и разработки внешнему для его науки эксперту или потребителю (в виде заявок на гранты, научно-популярной или учебной литературы), вынуждает его переходить со специализированного языка науки на максимально приближенный к потребителю научных знаний язык обыденного мышления и убеждения. Это создаёт условия для проникновения в язык науки аргументирующего дискурса и специфических риторических средств убеждения. В данном исследовании «дискурс» понимается как единство двух сущностей — про-

цесса языковой коммуникации и получающегося в её результате объекта, т.е. текста. Благодаря этому дискурс можно изучать как разворачивающийся во времени процесс и как структурный объект.

Научно-популярный дискурс является менее формальным, чем язык науки, но в то же время более строгим, чем обычный естественный язык. В нём, как правило, присутствуют аргументы (убеждающие элементы) «за» или «против» той или иной концепции/теории, используются аргументативные стратегии и риторические приёмы, реализующие различные способы убеждения.

В связи с этим возникает необходимость в более пристальном исследовании научно-популярного дискурса как жанра человеческой коммуникации, тем более, что он намного слабее изучен по сравнению с другими жанрами, например, текстами научных статей и новостных сообщений. Особенно остро стоит проблема изучения способов аргументации и риторических приёмов, используемых в научно-популярных текстах, с целью выработки рекомендаций по написанию убедительных статей, рассчитанных на широкую аудиторию.

В работе рассматривается подход к моделированию аргументации, встречающейся в научно-популярной литературе, и анализу используемых в ней схем аргументации, аргументативных стратегий и риторических приемов. Моделирование аргументации предполагает онтологическое описание схем (моделей) аргументации, их реализаций и примеров использования в исследуемых текстах. На основе онтологии строится инструмент анализа используемой аргументации, предоставляющий исследователям возможность находить и выделять в исходных текстах фрагменты, составляющие контент аргументации, и выполнять анализ стратегий и приёмов, используемых в конкретном тексте или в целом корпусе текстов.

В разделе 1 приведены краткие сведения из теории аргументации. В разделе 2 представлена информационная модель аргументации, которая используется для моделирования и анализа аргументации во многих приложениях и реализована в виде онтологии аргументации. В разделе 3 описана расширенная онтология аргументации, дополненная средствами, необходимыми для моделирования аргументации, используемой в научно-популярном дискурсе. В заключении подводятся промежуточные итоги работы по созданию расширенной онтологии аргументации и намечены планы на будущее.

1 Краткие сведения из теории аргументации

Теория аргументации – это комплексная дисциплина, существующая на стыке ряда наук, занимающихся изучением человеческой коммуникации и познания: логики и философии, истории и социологии, лингвистики и психологии, информатики и искусственного интеллекта. Теория аргументации изучает способы воздействия на убеждения людей. [1]. Это ссылки на экспертов, на опыт, на более общие принципы, на традицию, на здравый смысл и т.д.

Аргументация – это приведение доводов (аргументов) с целью изменения или формирования некоторого убеждения (позиции) у другой стороны [2]. Следует заметить, что под аргументацией понимают не только процедуру приведения аргументов в поддержку или против какого-то положения, но и саму совокупность таких аргументов.

Задача обнаружения аргументов и их составляющих в тексте (дискурсе) осложняется тем, что не все элементы аргументации явно представлены в тексте. Поэтому часто анализ аргументации начинается с восстановления последовательности (набора) высказываний (посылок), приводящих к некоторому заключению (утверждению).

Предложено много различных моделей аргументации [3], каждая из которых опирается либо на логический, либо на когнитивный, либо на риторический подход, либо на ту или иную их комбинацию, потому что, как верно замечено в [4], в отдельности ни один из этих

подходов не может дать нам точной картины аргументации, содержащейся в конкретном тексте. Одной из самых влиятельных моделей аргументации является модель Тулмина [5]. Согласно этой модели аргумент в общем случае включает шесть элементов (см. рисунок 1):

- *Claim* – тезис, т.е. утверждение или заключение, представленное аудитории (оно может не соответствовать первоначальным убеждениям аудитории);
- *Data* – исходные данные (факты, утверждения, посылки), относящиеся к рассматриваемой ситуации и которые являются основой для принятия тезиса;
- *Warrant* – утверждение, обосновывающее вывод тезиса из данных;
- *Backing* – информация, поддерживающая утверждения;
- *Rebuttal* – утверждение, описывающее границы применимости аргумента, т.е. ситуацию, когда тезис не может быть принят;
- *Qualifier* – утверждение, выражающее степень уверенности в тезисе.

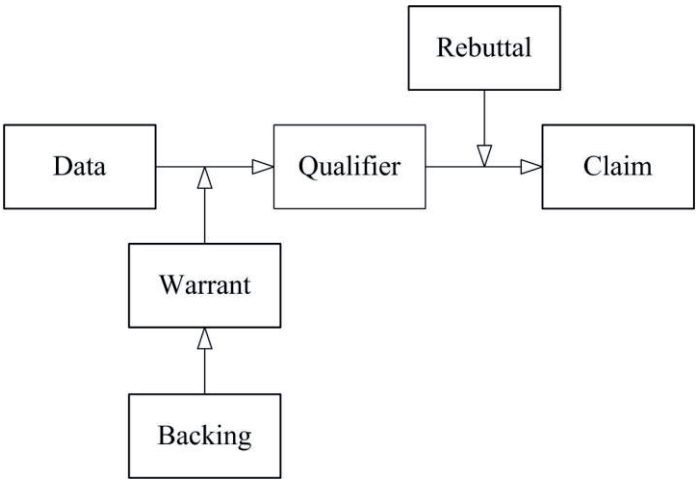


Рисунок 1 – Модель аргументации Тулмина

Обязательными элементами аргумента считаются *Claim, Data* и *Warrant*, а остальные элементы могут отсутствовать.

В этой модели *контраргументы* также являются аргументами, которые могут «атаковать» любой из первых четырёх элементов (*Claim, Data, Warrant* или *Backing*).

На практике приходится иметь дело не с одним, а с множеством аргументов. При этом любой аргумент может стать отправной точкой (посылкой) для другого аргумента. Любой тезис может рассматриваться как потенциальное обоснование другого тезиса. У разных аргументов могут быть общими как посылки, так и тезисы. Таким образом, аргументы оказываются связанными, и из них образуется сеть аргументов. На практике сеть аргументов обычно представляется в виде графа, поэтому в дальнейшем использованы термины *граф аргументов* или *граф аргументации*.

Многие известные модели аргументации опираются на приведённую выше модель Тулмина. Можно выделить три категории моделей аргументации: риторическую, диалогическую и монологическую [6]. Первые две выделяют аргументацию как динамический процесс: риторические модели делают акцент на аудиторию и на убедительное намерение, а диалогические описывают способы, которыми аргументы связаны в диалоговых структурах. Монологическая модель вместо этого подчеркивает структуру аргумента, включая отношения между различными компонентами данного аргумента.

Другая известная классификация моделей аргументации включает абстрактную и структурированную аргументации [7]. Абстрактная аргументация рассматривает каждый аргумент как атомную сущность без внутренней структуры. Структурированной аргументацией принимается во внимание внутренняя структура каждого аргумента.

При анализе аргументации, используемой в текстах, когда требуется извлекать элементы аргументов из фрагментов текста на естественном языке, структура аргумента играет важную роль. Поэтому при решении таких задач используются модели структурированной аргументации. Наиболее известной моделью структурированной аргументации, нашедшей при-

менение в практических системах анализа аргументации, является модель Дугласа Уолтона [8]. В этой модели структурированный аргумент определяется как набор утверждений, состоящий из трёх частей: набора посылок, заключения и вывода из посылок к заключению.

Схемы аргументации в модели Д. Уолтона – это формы аргументов, описывающие структуры аргументативного вывода [9]. Это понятие позволяет выявлять и оценивать общие типы аргументации. Такие схемы могут использоваться для представления знаний, необходимых для приведения аргументов и объяснений. Они отражают стереотипные модели мышления, которые в общем случае не являются дедуктивными и монотонными. Такие схемы аргументов называют моделями правдоподобного вывода, в том смысле, что, если посылки аргумента верны, то предположительно верно и заключение.

Каждая схема имеет название, заключение, набор посылок и набор критических вопросов. Критические вопросы дают возможность определить слабые стороны аргумента, основанного на этой схеме. Их можно использовать для моделирования дополнительных посылок или порождения не представленных явно в тексте или опущенных в рассуждении посылок, которые будут поддерживать аргумент.

В работе [10] приведён компендиум, содержащий 60 основных схем аргументации, многие из которых имеют варианты (подсхемы). При этом некоторые схемы не включены в компендиум и обсуждаются отдельно. Схемы аргументов используются в ряде инструментов для анализа аргументации (Araucaria [11], OVA [12], Carneades [13], ArgDF [14]).

2 Информационная модель аргументации

Для моделирования аргументации использована онтология аргументации, базирующаяся на формате AIF (Argument Interchange Format) [15, 16], принятом международным сообществом в качестве стандартной нотации для описания аргументов и аргументативных структур. Этот формат показал себя удобным для обмена данными, полученными пользователями разных систем, в которых результаты анализа аргументации представлены в разных форматах и на разных языках [17].

2.1 Формат AIF

Формат AIF представляет собой онтологию, включающую понятия, необходимые для описания аргументов. Базовая AIF-онтология делится на две части: онтологию верхнего уровня и онтологию форм. Первая определяет основные строительные блоки AIF-графов аргументов, типы вершин и ребер. Онтология форм обеспечивает концептуальное описание элементов AIF-графов, таких как посылки, заключения, схемы логического вывода, исключения и т.д. Вершины, определённые в онтологии верхнего уровня, используются для построения сети аргументов на уровне экземпляров. Вершины этих сетей заполняют формы соответствующих аргументов из онтологии форм.

На рисунке 2 представлена спецификация формата AIF. Здесь белые вершины соответствуют классам онтологии верхнего уровня, серые вершины – классам онтологии форм. Разные типы стрелок обозначают различные типы отношений между классами онтологии. Сплошные стрелки указывают, что класс *Схема вывода* является подклассом класса *Схема*; «точечные» стрелки показывают, что экземпляр класса *RA-вершина* реализует (fulfils) подкласс класса *Схема вывода*; пунктирные стрелки указывают на то, что подклассы класса *Схема дедуктивного вывода* всегда имеют связанные подклассы класса *Посылка*.

Согласно формату AIF аргументы могут представляться как вершины в ориентированном графе, называемом сетью аргументов. Вершина может иметь ряд собственных (внутренних) атрибутов, соответствующих, например, автору аргумента, дате создания, степени до-

стоверности, статусу приемлемости аргумента и т.п. Поскольку эти атрибуты зависят от конкретного приложения, они не задаются в AIF-онтологии.

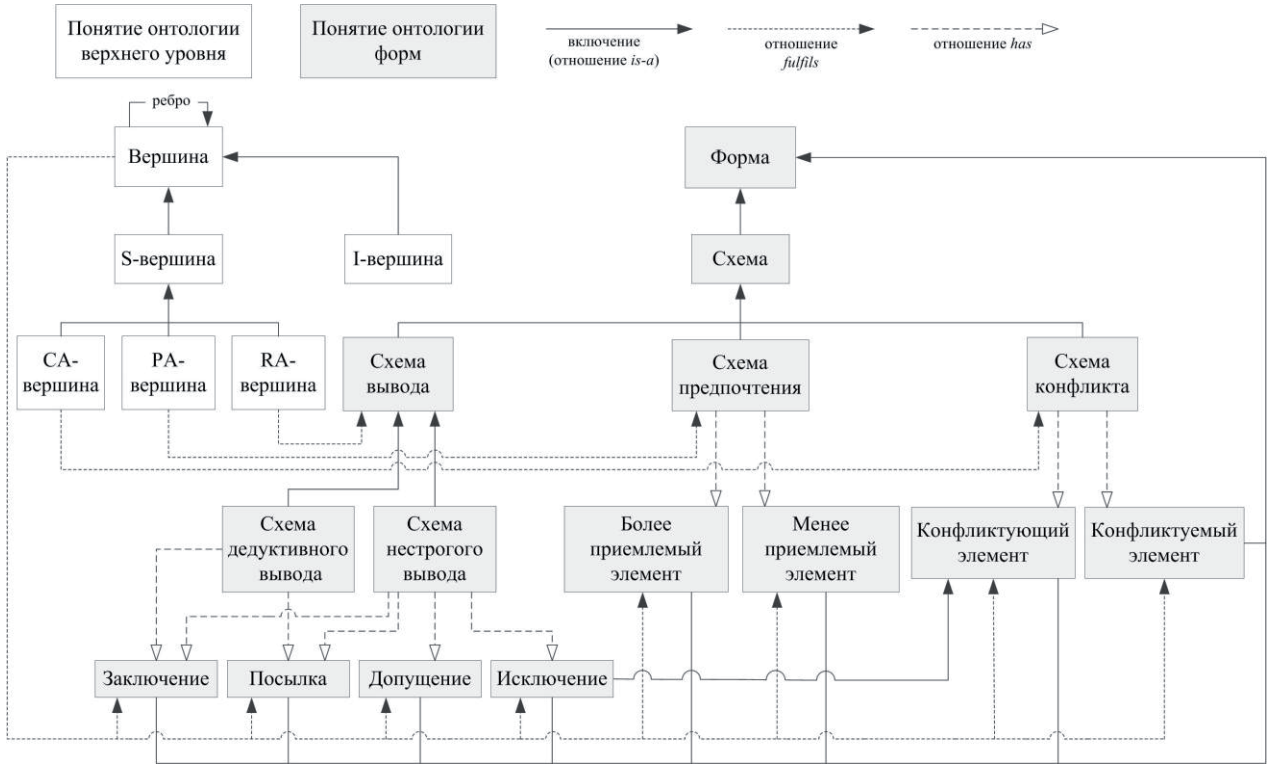


Рисунок 2 – Спецификация формата AIF

Формат AIF определяет два непересекающихся типа вершин: информационные вершины (*I-вершины*) и вершины-схемы (*S-вершины*). *I-вершины* используются для представления утверждений, содержащих информацию, связанную с такими элементами аргумента, как заключения, посылки, допущения и т.п. *S-вершины* служат для представления схем аргументов, которые являются предметно-независимыми шаблонами (моделями) рассуждений. Эти схемы похожи на правила вывода в дедуктивной логике, но расширены возможностью поддержки других типов вывода. Элементами схем аргументов являются посылки, допущения, исключения и заключение.

Формат AIF содержит три непересекающихся типа *S-вершин*: вершины реализации правил вывода (*RA-вершина*), вершины реализации предпочтения (*PA-вершина*) и вершины реализации конфликта (*CA-вершина*). Слово «реализация» для этих типов означает, что эти вершины функционируют как экземпляры, а не классы. К *RA-вершинам* относятся вершины, представляющие как дедуктивные правила вывода, так и правила правдоподобного (нестрогого) вывода, *CA-вершины* служат для задания отношения конфликта (например, между утверждением и его отрицанием), а *PA-вершины* реализуют отношение предпочтения среди оцениваемых вершин.

2.2 Сеть аргументов

Спецификация формата AIF не задаёт типы рёбер (связей). Семантика связей может быть выведена из типов вершин, которые они соединяют. Есть два вида рёбер:

- рёбра схемы, исходящие из *S-вершин*; они поддерживают заключения других *S-вершин*, которые могут быть как I-*вершинами*, так и S-*вершинами*;

- рёбра данных из *I-вершин* в *S-вершины*, которые предоставляют информацию (посылки) для реализаций схем аргументов.

То есть, существуют рёбра вида I-to-S (рёбра информации), S-to-I (рёбра вывода) и S-to-S (рёбра обоснования). Из приведённых ограничений видно, что рёбра, исходящие из *I-вершин*, не могут быть направлены в другие *I-вершины*. Это гарантирует, что отношения между двумя элементами информации будут определены явно через промежуточную *S-вершину*. Для заданной сети аргументов вершина *A* поддерживает вершину *B* тогда и только тогда, когда существует ребро от *A* к *B*.

Сеть AIF-аргументов является диграфом $G = (N,E)$, где:

- $N = I \cup RA \cup CA \cup PA$ – множество вершин, где I – множество *I-вершин*, RA – множество *RA-вершин*, CA – множество *CA-вершин*, PA – множество *PA-вершин*;
- $E \subseteq (N \times N) \setminus (I \times I)$ – множество рёбер.

На рисунке 3 представлена сеть аргументов, связанных различными типами конфликтных отношений. В этой сети экземпляры аргументов обозначены как Arg_n, посылки как PX_n, выводы – CX, допущения – $AsmX_n$, исключения – $ExcpX_n$, а экземпляры общего конфликта и конфликта с исключением как GC_n и EC_1 соответственно (в обозначениях $X \in \{A, B, C, \ldots\}$ и $n \in \mathbf{N}$).

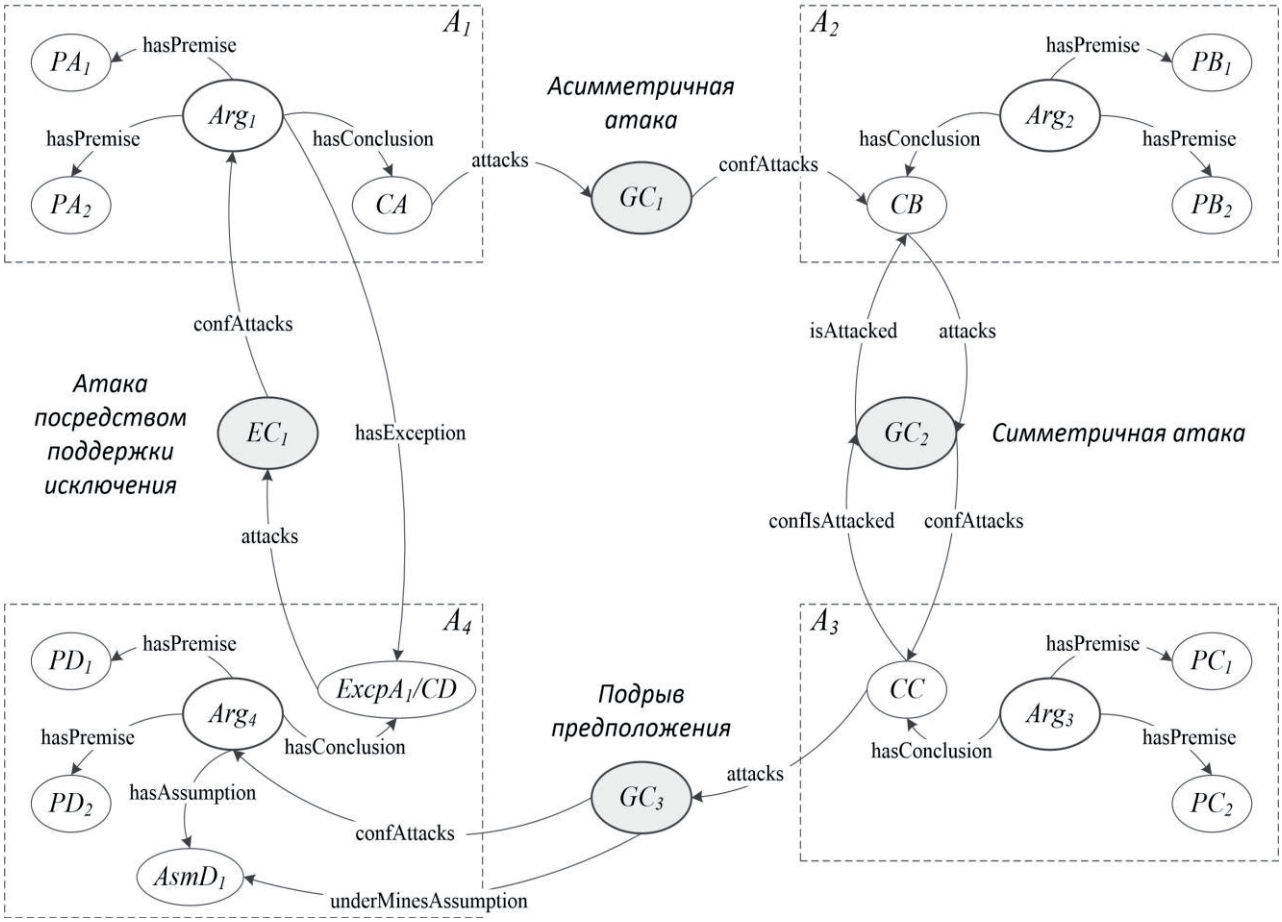


Рисунок 3 – Сеть аргументов с различными отношениями конфликта

Здесь показаны четыре различных типа конфликтов между аргументами: асимметричная атака (Arg_1 против Arg_2), симметричная атака (Arg_2 и Arg_3 атакуют друг друга), подрыв допущения (Arg_3 против Arg_4) и атака посредством поддержки исключения (Arg_4 против Arg_1).

2.3 Реализация AIF-онтологии

Первая версия AIF-онтологии была реализована на языке RDFS [18]. Она использовалась для описания аргументов и схем аргументации. На базе этой онтологии была построена пилотная web-система ArgDF [14], которая позволяла создавать структуры аргументов в RDF-хранилище и осуществлять в нем поиск. Позже AIF-онтология была реализована на языке OWL DL [18, 19] и на сегодняшний день является единственной доступной версией AIF-онтологии [20], поэтому её можно называть базовой AIF-онтологией. Её выразительность значительно выше, чем у версии онтологии на языке RDFS. В частности, в ней дано определение спецификации AIF-формата и схем аргументов в виде классов (в отличие от экземпляров классов в RDFS-версии), что позволяет явно классифицировать сами схемы. Новая версия онтологии позволяет явно использовать машины вывода для классификации аргументов и схем. В эту версию онтологии включено около 40 схем аргументации из компендиума Уолтона [10]. В описания схем аргументации в качестве дополнительных посылок-утверждений введены допущения и исключения, построенные на основе приведённых в схемах Уолтона критических вопросов.

Рассмотренная AIF-онтология предназначена только для представления аргументов и аргументативных структур. Для решения задач анализа аргументации, таких как оценка качества аргументации, поиск более приемлемых аргументов и др., данную онтологию необходимо дополнить соответствующими классами, отношениями и атрибутами.

3 Расширение онтологии аргументации

Для решения задач извлечения аргументов из текстов и анализа аргументации базовая AIF-онтология дополнена средствами, позволяющими моделировать аудиторию, на которую направлены аргументы, и средствами, позволяющими представлять содержание утверждений, входящих в аргументы. На рисунке 4 представлена модификация базовой онтологии AIF, реализующая предложенные дополнения.

3.1 Средства моделирования аудитории

При анализе аргументации часто требуется учитывать образ мышления и систему ценностей различных аудиторий. Например, аргументы, значимые для подростков, в частности, апеллирование к мнению социальной группы, могут оказаться менее значимыми для старшей аудитории. В то же время отсылки на мнение авторитетных учёных будут более значимыми для научных работников, чем для школьников.

Для работы со значимостью (весомостью) аргументов и их посылок в базовую AIF-онтологию введены веса, как атрибуты классов схем аргументов, элементов схем аргументов и собственно утверждений. В работе [21] разработана модель – абстрактная алгебра, которая в сочетании с AIF-онтологией позволяет при анализе значимости аргументов также использовать веса их элементов, в том числе с учётом атак, поддержек и агрегирования аргументов. (Агрегирование используется в ситуации, когда одно утверждение выступает в роли заключения сразу в нескольких аргументах.) При вычислении веса заключения аргумента учитываются веса посылок и связи с остальными аргументами сети.

В расширенной онтологии эта модель дополнена возможностью учёта веса схемы аргумента, поскольку для различных аудиторий одна и та же схема аргумента может иметь разный вес. Например, в научной среде аргумент «От аналогии» (схема №7 в компендиуме [10]) может иметь низкий вес, в то время как для юристов этот аргумент достаточно веский, если система права основана на прецедентах. Введены средства учёта весов таких элементов схемы аргумента, как допущения и исключения.

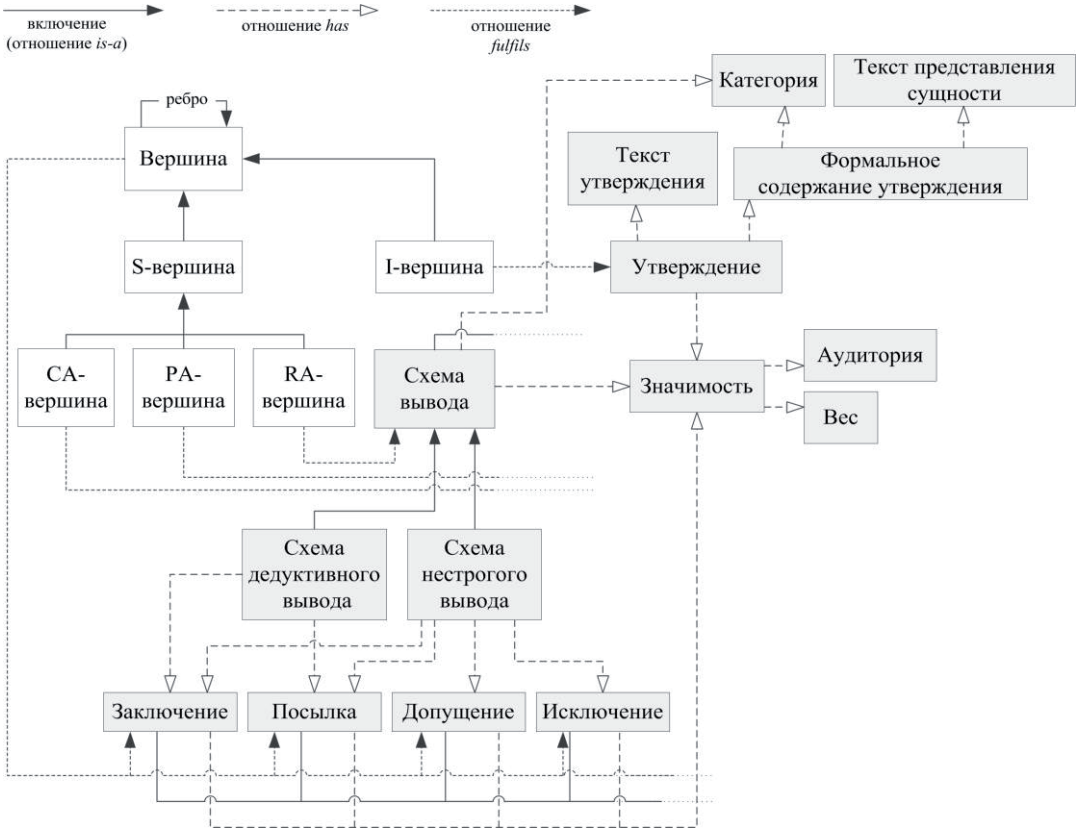


Рисунок 4 – Модификация базовой онтологии AIF

Веса, зависящие от аудитории, задаются с помощью класса *Значимость*, содержащего пары атрибутов *Аудитория* и *Вес*. Атрибут *Аудитория* содержит обозначение целевой аудитории. Атрибут *Вес* может задаваться как целым числом, так и вещественным числом от 0 до 1. В последнем случае при вычислении весов аргументов применяется нормирование.

Оценивание качества (обоснованности/убедительности) аргументации основано на использовании весов заключений аргументов. Существуют различные способы вычисления веса заключений анализируемых аргументов [21, 22]. Способы вычисления весов аргументов, построенных на расширенной онтологии, будут использовать веса схем аргументов, веса их посылок, допущений и исключений, веса конкретных утверждений, извлечённых из текста и составляющих содержание посылок, допущений и исключений (*I-вершин*), а также отношения поддержки и атаки других аргументов сети.

3.2 Средства описания содержания аргументов

В базовой AIF-онтологии в схемах аргументов на уровне структуры аргумента присутствуют посылки и заключения, допущения и исключения, которые являются утверждениями. В этих утверждениях можно выделить предметно-независимые понятия и отношения, такие как источник информации, персона, действие, цель, принадлежность и т.п. Эти понятия и отношения могут служить для установления референтных связей между аргументами, что может быть полезно как при «ручном», так и автоматизированном анализе структуры сети аргументов. По этой причине в онтологию введены средства, позволяющие представлять содержание утверждений, входящих в аргументы, в виде экземпляров таких понятий и отношений. Варианты детализации описания утверждений показаны на следующих примерах схем аргументов.

Схема «От экспертного мнения» (схема №2 в компендиуме [10]) имеет вид:

Посылка 1: источник *E* является экспертом в предметной области *S*.
Посылка 1`: утверждение *A* относится к предметной области *S*.
Посылка 2: *E* утверждает, что *A* истинно (ложно).
Вывод: *A* истинно (ложно).
Критические вопросы:
1) Можно ли доверять *E* как эксперту?
2) Является ли *E* экспертом в той области, которой принадлежит *A*?
3) То, что утверждал *E*, действительно влечёт *A*?
4) Надёжен ли *E* как источник информации?
5) Согласуется ли мнение *E* об *A* с мнением других экспертов?
6) Основано ли утверждение *E* на фактах?

Предметно-независимыми понятиями в этой схеме являются *источник_информации E* (им может быть как *персона*, так и, например, *статья_в_журнале*), *предметная область S* и *утверждение A*. Они связаны предметно-независимыми отношениями *являться_экспертом(E, S, true)*, *принадлежать(A, S, true)* и *утверждать(E, A, true)*, *быть_истинным(A, true/false)*. Здесь и далее элементы отношений *true* или *false* обозначают истинность отношения в данном утверждении.

В критических вопросах этой схемы, поскольку они служат основаниями для формирования исключений и допущений аргумента, также необходимо выделять предметно-независимые понятия и отношения. В приведённом аргументе - это: *являться_экспертом(E, S, ω)*, *влечёт(A_1, A_2, ω)*, *согласуется(A_1, A_2, ω)*, *оценивать(P, надёжность, ω)*, *обосновано(A, ω)*. Здесь *ω* используется для неопределённого значения истинности (в понятиях из критических вопросов).

Схема «От взаимосвязи персоны и действия» (схема №18.1 в компендиуме [10]) имеет вид:

Посылка 1: персона *P* осуществила действие *A*.
Посылка 2: действие *A* оценивается значением *V*.
Вывод: персона *P* оценивается как *V*.

Предметно-независимыми понятиями в этой схеме являются *персона P*, *действие A* и *оценка V*. Они связаны предметно-независимыми отношениями *сделать(P, A, true)*, *оценивать(A, V, true)* и *оценивать(P, V, true)*.

Если в сети аргументов одна и та же персона встречается и как эксперт (в схеме №2), и как персона(в схеме №18.1), то автоматическое обнаружение такого соответствия может подсказать пользователю существование возможной атаки «Посредством поддержки исключения» второго аргумента на первый.

Например, пусть сеть аргументов содержит два аргумента, реализующих схемы «От экспертного мнения» и «От взаимосвязи персоны и действия» (см. рисунок 5).

Пусть аргумент «От экспертного мнения» имеет вид:

Посылка 1: *X* преподаёт в известном университете предмет «Методы анализа данных».
Посылка 1`: методы машинного обучения изучаются в области анализа данных.
Посылка 2: *X* утверждает, что методами машинного обучения невозможно извлечь полную семантическую информацию.
Вывод: можно считать, что методами машинного обучения невозможно извлечь полную семантическую информацию.

Допущение/исключение, сформированное на основе критического вопроса №4 содержит отношение *оценивать(X, надёжность, ω)*. В сети аргументов может существовать аргумент, вывод которого однозначно определяет значение *ω*. Если этот вывод определяет *ω* как *true*,

то этот аргумент поддерживает аргумент «От экспертного мнения», а если он определяет ω как *false*, то этот аргумент атакует его.

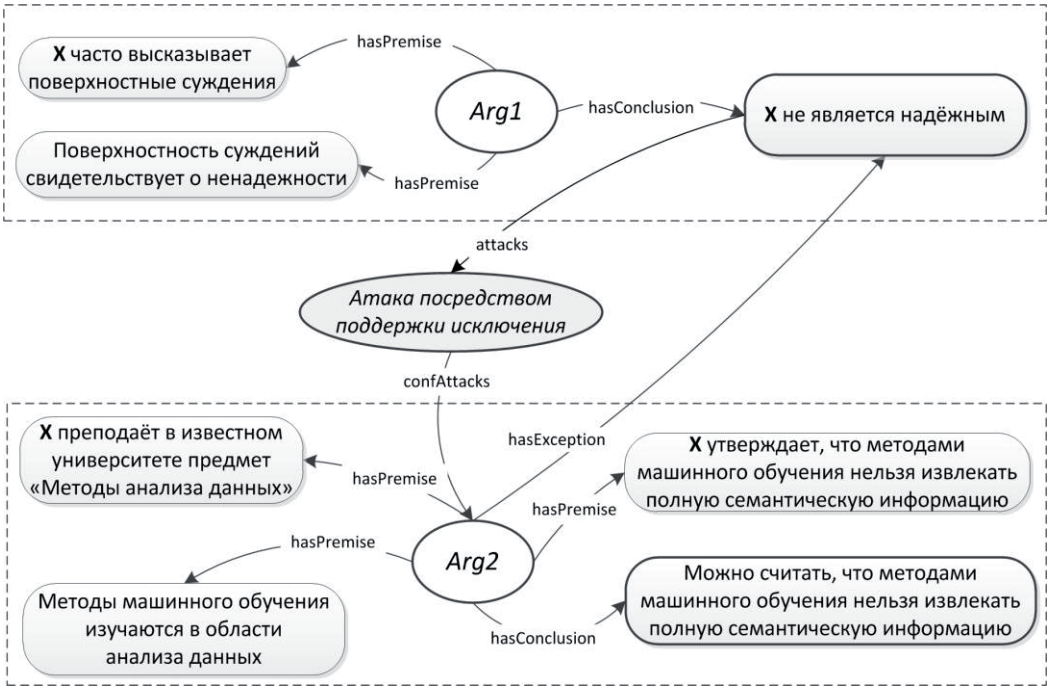


Рисунок 5 – Пример атаки посредством поддержки исключения

Пусть в этой же сети аргументов также имеется аргумент «От взаимосвязи персоны и действия» следующего вида:

Посылка 1: *X* часто высказывает поверхностные суждения.

Посылка 2: поверхностность суждений свидетельствует о ненадёжности.

Вывод: *X* не является надёжным.

Утверждение вывода этого аргумента содержит отношение *оценивать(X, надёжность, false)*. Поэтому в данном случае аргумент «От взаимосвязи персоны и действия» атакует аргумент «От экспертного мнения». Вид этой атаки: «Атака посредством поддержки исключения».

Таким образом, описание формального содержания утверждений, входящих в аргументы, может быть полезным как при анализе сети аргументов, так и текста, на основе которого она была построена. Наличие таких описаний позволяет получить следующие новые возможности в моделировании и анализе аргументации:

- определение связи аргументов на уровне предметно-независимых сущностей;
- автоматическое предсказание отношений поддержки и конфликта;
- автоматическое предсказание аргументов;
- автоматизированное выявление аргументов.

Для описания формального содержания утверждений набор свойств класса *Утверждение*, включает атрибут *Текст_Утверждения*, служащий для записи текста утверждения, дополняется объектным отношением *иметь_Формальное_содержание.* Оно связывает данное утверждение с его формальным описанием, представленным экземплярами класса *Формальное_содержание*. Класс *Формальное_содержание* имеет пару атрибутов *Категория* и *Текстовое_представление_Сущности*, где атрибут *Категория* описывает категорию некоторой сущности, встретившейся в тексте утверждения, а атрибут *Текстовое_представление_Сущности* представляет её текстовое описание в анализируемом утверждении.

Для каждой схемы аргументов заранее задаётся свой набор *Категорий* для того, чтобы ограничить типы сущностей, присутствующих в схеме (например, *Персона*, *Действие*, *Ценность* и т.п.). Это позволяет упростить процесс извлечения сущностей, их аргументов и повысить качество анализа аргументации.

Заключение

В работе представлен подход к моделированию и анализу аргументации, встречающейся в научно-популярной литературе. Моделирование аргументации выполняется средствами онтологии аргументации, основанной на базовой AIF-онтологии и расширенной средствами, необходимыми для моделирования аргументации, используемой в научно-популярном дискурсе. В терминах этой онтологии описываются схемы аргументации, структура и элементы аргументов, а также могут представляться составные части аргументов, извлечённые из исследуемых текстов, и сети таких аргументов.

Благодаря добавлению в базовую онтологию средств, позволяющих учитывать ценности и образ мышления аудитории, для которой предназначен анализируемый научно-популярный текст, стала возможной оценка обоснованности и убедительности аргументации для данной аудитории. Введение в онтологию средств для представления содержания утверждений, входящих в аргументы, позволяет устанавливать связи аргументов на уровне предметно-независимых сущностей и автоматически предсказывать ситуации поддержки и атаки одних аргументов другими.

На основе предложенной онтологии строится программный комплекс, предоставляющий средства для моделирования и извлечения аргументации на корпусе научно-популярных текстов, а также для исследования полученной аргументации с целью выявления и анализа используемых в текстах аргументативных стратегий и риторических приемов.

Благодарности

Статья подготовлена по итогам исследования, проведённого в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 18-00-01376 (18-00-00889) и № 18-00-01376 (18-00-00760).

Список источников

[1] ***Ивин, А.А.*** Аргументация в процессах коммуникации. Pro et contra / А.А. Ивин – М.: Проспект, 2017. – 384 с.

[2] ***Ивин, А.А.*** Основы теории аргументации / А.А. Ивин // Учебник. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 352 с.

[3] ***Лисанюк, Е.Н.*** Модели аргументации, рассуждение и убеждение / Е.Н. Лисанюк // РАЦИО.ru. – 2016. – Вып.17(2). – С.35–68.

[4] ***Брюшинкин В.Н.*** Системная модель аргументации / В.Н. Брюшинкин // Трансцендентальная антропология и логика: Труды международного семинара «Антропология с современной точки зрения» и VIII Кантовских чтений. – Калининград: Калинингр. ун-т, 1999. – С.137–160.

[5] ***Toulmin, S.*** The Uses of Argument / S. Toulmin. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 262 p.

[6] ***Bentahar, J.*** A taxonomy of argumentation models used for knowledge representation / J. Bentahar, B. Moulin, M. Bélanger // Artificial Intelligence Review. – 2010. – Vol. 33(3). – P.211–215.

[7] ***Besnard, P.*** Introduction to structured argumentation / P. Besnard, A. Garcia, A. Hunter, S. Modgil, H. Prakken, G. Simari, F. Toni // Argument & Computation. – 2014. – Vol. 5(1). – P.1–4.

[8] ***Walton, D.*** Argumentation theory: A very short introduction / D. Walton // G. Simari, I. Rahwan (eds.) Argumentation in Artificial Intelligence. - Springer, Boston, 2009. – P.1–22.

[9] ***Reed, C.*** Argumentation schemes in argument-as-process and argument-as-product / C. Reed, D. Walton // Proc. of Conference Celebrating Informal Logic. OSSA Conference Archive 75, University of Windsor. – OSSA, Windsor, Ontario, 2003. – 1 CD-ROM.
[10] ***Walton, D.*** Argumentation schemes / D. Walton, C. Reed, F. Macagno. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 456 p.
[11] ***Reed, C.*** Araucaria: Software for argument analysis, diagramming and representation / C. Reed, G. Rowe // International Journal on Artificial Intelligence Tools. – 2004. – Vol. 13(4). – P.961–979.
[12] ***Janier, M.*** OVA+: An argument analysis interface / M. Janier, J. Lawrence, C. Reed // Computational Models of Argument: Proc. of COMMA 2014. -- IOS Press, Amsterdam, 2014. – Vol. 266. – P.463–464.
[13] ***Gordon, T.F.*** The Carneades argumentation framework - using presumptions and exceptions to model critical questions / T.F. Gordon, D. Walton // Proc. of the 2006 Conf. on Computational Models of Argument: Proceedings of COMMA 2006. – IOS Press, Amsterdam, 2006. – Vol. 6. – P.195–207.
[14] ***Rahwan, I.*** Laying the foundations for a world wide argument web / I. Rahwan, F. Zablith, C. Reed // Artificial intelligence. – 2007. – Vol. 171(10-15). – P.897–921.
[15] ***Chesñevar, C.I.*** Towards an argument interchange format / C.I. Chesñevar, J. McGinnis, S. Modgil, I. Rahwan, C. Reed, G. Simari, M. South, G. Vreeswijk, S. Willmott // The knowledge engineering review. – 2006. – Vol. 21(4). – P.293–316.
[16] ***Rahwan, I.*** The argument interchange format / I. Rahwan, C. Reed // G. Simari, I. Rahwan (eds.) Argumentation in Artificial Intelligence. –Springer, Boston, 2009. – P.383–402.
[17] AIF Database. –http://www.aifdb.org.
[18] ***Лапшин, В.А.*** Онтологии в компьютерных системах / В.А. Лапшин. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
[19] ***Antoniou, G.*** Web Ontology Language: OWL / G. Antoniou, F. Harmelen // Handbook on Ontologies. – Springer Verlag, Berlin, 2004. – P.67–92.
[20] ***Rahwan, I.*** Representing and classifying arguments on the semantic web / I. Rahwan, B. Banihashemi, C. Reed, D. Walton, S. Abdallah // The Knowledge Engineering Review. – 2011. – Vol. 26(4). – P.487-511.
[21] ***Budan, M.C.D.*** An AIF-based labeled argumentation framework / M.C.D. Budan, M.J.G. Lucero, G.R. Simari // In: C. Beierle, C. Meghini (eds.) FoIKS 2014. LNCS. – Springer, Cham, 2014. – Vol. 8367. – P.117-135.
[22] ***Вагин, В.Н.*** Программная реализация системы аргументации со степенями обоснования / В.Н. Вагин, О.Л. Моросин // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1. – С.21–27.

ARGUMENTATION MODELING IN POPULAR SCIENCE DISCOURSE USING ONTOLOGIES

Yu.A. Zagorulko[1,a], N.O. Garanina[1,b], O.I. Borovikova[1,c], O.A. Domanov[2,d]

[1] *A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia*
[a]zagor@iis.nsk.su, [b]garanina@iis.nsk.su, [c]olesya@iis.nsk.su

[2] *Institute of Philosophy and Law of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia*
[d]odomanov@gmail.com

Abstract

Today, popular science discourse is becoming an integral and essential element of scientific activity, as it acts as a mediator, providing communication between the scientific community and a wide audience. In order for this interaction to be productive, it is necessary that the texts (popular science books and articles) offered to the uninitiated public contain high-quality argumentation. In this regard, the study of the argumentation presented in the popular science literature is an important and urgent problem. This paper presents an approach to modeling the arguments used in popular science literature. Such modeling is performed using the means of the ontology of argumentation, based on the AIF format (Argument Interchange Format). This format is accepted de facto by the international community as a standard notation for describing arguments and argumentative structures. We extended this ontology by the means necessary to model the argumentation used in popular science discourse. In particular, new means allow you to model the target audience and present the content of the statements included in the arguments. In terms of the extended ontology we can describe generally accepted and original argumentation schemes, their significance for various audiences, the structure and components of arguments. Concrete arguments extracted from the texts under study and their components can also be presented in the terms of this ontology. The ontology of argumentation with such properties is described for the first time. This

ontology is used as an information model of a software system designed for modeling and analysis of argumentation used in popular science literature.

Key words: *popular science discourse, argumentation, modeling, argumentation scheme, argumentation analysis means, ontology.*

Citation: *Zagorulko YuA., Garanina NO., Borovikova OI., Domanov OA.* Argumentation modeling in popular science discourse using ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 496-509. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-496-509.

Acknowledgments

The article was prepared based on the results of a study conducted as part of the projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 18-00-01376 (18-00-00889) and No. 18-00-01376 (18-00-00760).

References

[1] ***Ivin AA.*** Argumentation in the process of communication. Pro et contra [In Russian] - M.: Prospect; 2017.
[2] ***Ivin AA.*** Fundamentals of argumentation theory. [In Russian] – M.: VLADOS;1997.
[3] ***Lisanyuk EN.*** Reasoning, persuasion and modelling argumentation [In Russian] // RATIO.ru. – 2016, 17(2): 35–68.
[4] ***Bryushinkin VN.*** System model of argumentation [In Russian] // Transcendental anthropology and logic. Proceedings of the International Workshop "Anthropology from the Standpoint of Modern Logic" and the VIIIth Kant Conference. – Kaliningrad: Kaliningrad State University, 1999: 137–160.
[5] ***Toulmin S.*** The Uses of Argument. - Cambridge: Cambridge University Press; 2003.
[6] ***Bentahar J, Moulin B, Bélanger M.*** A taxonomy of argumentation models used for knowledge representation // Artificial Intelligence Review 2010, 33(3): 211-215.
[7] ***Besnard P, Garcia A, Hunter A, Modgil A, Prakken H, Simari G, Toni F.*** Introduction to structured argumentation // Argument & Computation 2014, 5(1): 1–4.
[8] ***Walton D.*** Argumentation theory: A very short introduction // G. Simari, I. Rahwan (eds.) Argumentation in Artificial Intelligence. – Springer, Boston; 2009: 1–22.
[9] ***Reed C, Walton D***. Argumentation schemes in argument-as-process and argument-as-product // Proc. of Conference Celebrating Informal Logic. OSSA Conference Archive 75, University of Windsor. – OSSA, Windsor, Ontario, 2003. (1 CD-ROM).
[10] ***Walton D, Reed C, Macagno F***. Argumentation schemes. – Cambridge University Press; 2008.
[11] ***Reed C, Rowe G***. Araucaria: Software for argument analysis, diagramming and representation // International Journal on Artificial Intelligence Tools 2004, 13(4): 961–979.
[12] ***Janier M, Lawrence J, Reed C.*** OVA+: An argument analysis interface // Computational Models of Argument: Proc. of COMMA 2014. - IOS Press, Amsterdam; 2014, 266: 463–464.
[13] ***Gordon TF, Walton D.*** The Carneades argumentation framework - using presumptions and exceptions to model critical questions // Proc. of the 2006 Conf. on Computational Models of Argument: Proceedings of COMMA 2006. – IOS Press, Amsterdam; 2006, 6: 195–207.
[14] ***Rahwan I, Zablith F, Reed C.*** Laying the foundations for a world wide argument web // Artificial intelligence 2007, 171(10–15): 897–921.
[15] ***Chesñevar CI, McGinnis J, Modgil S, Rahwan I, Reed C, Simari G, South M, Vreeswijk G, Willmott S***. Towards an argument interchange format // The knowledge engineering review 2006, 21(4): 293–316.
[16] ***Rahwan I, Reed C.*** The argument interchange format // G. Simari, I. Rahwan (eds.) Argumentation in Artificial Intelligence. – Springer, Boston; 2009: 383–402.
[17] AIF Database. –http://www.aifdb.org.
[18] ***Lapshin VA.*** Ontology in computer systems [In Russian]. – Moscow: Scientific World Publishing House; 2010.
[19] ***Antoniou G, Harmelen F***. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. – Springer Verlag, Berlin; 2004:67-92.
[20] ***Rahwan I, Banihashemi B, Reed C, Walton D, Abdallah S***. Representing and classifying arguments on the semantic web // The Knowledge Engineering Review 2011, 26(4): 487–511.
[21] ***Budan MCD, Lucero MJG, Simari GR.*** An AIF-based labeled argumentation framework // In: C. Beierle, C. Meghini (eds.) FoIKS 2014. LNCS. - Springer, Cham; 2014, 8367: 117–135.

[22] ***Vagin VN, Morosin OL.*** Software implementation of an argumentation system with justification degrees [In Russian] // International journal “Programmnye produkty i sistemy” (Software & Systems) 2015, 1: 21–27.

Сведения об авторах

Загорулько Юрий Алексеевич, 1957 г. рождения. Окончил Новочеркасский политехнический институт им. С. Орджоникидзе (1979), к.т.н. (1989). Заведующий лабораторией Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, доцент кафедры программирования и систем информатики Новосибирского государственного университета. Член Российской и Европейской ассоциаций искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 250 публикаций в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования и компьютерной лингвистики.

Yury Alekseevich Zagorulko (b.1957) graduated from the Novocherkassk Polytechnic Institute in 1979, PhD (1989). He is a head of laboratory at A.P. Ershov Institute of Siberian Branch of Informatics Systems of Russian Academy of Science, associate professor at Novosibirsk State University. He is a member of Russian and European Associations for Artificial Intelligence. He is the author of more than 250 publications in the fields of AI, knowledge and ontology engineering, intelligent system development and computational linguistics.

Гаранина Наталья Олеговна, 1972 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет (2001), к.ф.-м.н. (2004). Старший научный сотрудник лаборатории Теоретического программирования Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, старший преподаватель кафедры программирования Новосибирского государственного университета. В списке научных трудов более 90 публикаций в области формальной верификации, мультиагентных систем, эпистемических и дескриптивных логик, формального анализа понятий, онтологического моделирования и компьютерной лингвистики.

Natalya Olegovna Garanina (b. 1972) graduated from Novosibirsk State University in 2001, Ph.D. (2004). Senior Researcher at the Theoretical Programming Laboratory in A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS, assistant professor at Novosibirsk State University. She is the author of more than 90 publications in the fields of formal verification, multi-agent systems, epistemic and description logics, formal concept analysis, ontology engineering and computational linguistics.

Боровикова Олеся Игнатьевна, 1977 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет (1999). Младший научный сотрудник лаборатории Искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. В списке научных трудов более 95 публикаций в области разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования и компьютерной лингвистики.

Olesya Ignatyevna Borovikova (b.1977) graduated from Computer Science Department of Novosibirsk State University in 1999. She is a junior researcher of the Artificial Intelligence Laboratory of A.P.Ershov Institute of Informatics Systems of Russian Academy of Sciences Siberian Division. She is the author of more than 95 publications in the fields of knowledge and ontology engineering, intelligent system development and computational linguistics.

Доманов Олег Анатольевич, 1964 г. рождения. Окончил Новосибирский государственный университет, физический факультет (1986), философский факультет (1999), Central European University, Budapest (2001), The Open University, London (2001), к.филос.н. (1999). Старший научный сотрудник Института философии и права СО РАН, преподаватель Института философии и права НГУ. В списке научных трудов три монографии (одна в соавторстве) и более 40 работ в области онтологии, формальной семантики, семантики естественного языка, история философии, методологии истории философии.

Oleg Anatolievich Domanov, (b. 1964) graduated from Novosibirsk State University, Department of Physics (1986) and Department of Philosophy (1999), Central European University, Budapest (2001), The Open University, London (2001), PhD in Philosophy (1999). Senior Researcher at the Institute of Philosophy and Law, SB RAS, lecturer at the Institute of Philosophy and Law, NSU. He is the author and co-author of three monographs and more than 40 research papers in the areas of ontology, formal semantics, semantics of natural language, history of philosophy, and methodology of the history of philosophy.

УДК 004.82

ЛОГИКИ С ВЕКТОРНОЙ СЕМАНТИКОЙ КАК СРЕДСТВО ВЕРИФИКАЦИИ БАЗ ЗНАНИЙ

Л.В. Аршинский[1], А.А. Ермаков[2], М.С. Нитежук[3]

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
[1] larsh@mail.ru, [2] anatolij.ermackow2011@yandex.ru, [3] marino_@mail.ru

Аннотация

Обсуждаются общие вопросы автоматизированного поиска артефактов в продукционных базах знаний на основе логик с векторной семантикой в варианте V^{TF}-логик. Рассматриваются случаи ложности антецедента продукции при всех допустимых значениях истинности входных посылок, наличие нигде не используемых терминов и генерирование неопределённых значений истинности, появление противоречий. Алгоритмизация рассматривается как организация прямого присоединённого логического вывода, вскрывающего артефакты баз знаний. Первые два случая выявляются подсчётом числа срабатываний каждой продукции и выявлением терминов, не привязанных к продукциям. Противоречие обнаруживается выводом с проверкой истинности заключений-гипотез. Наличие заключения с истинностью ⟨1; 1⟩ (полное противоречие) сигнализирует о противоречии на одном из этапов рассуждений, который устанавливается обратной трассировкой логической цепочки. Необходимым этапом вывода является объединение свидетельств с использованием 11-композиции (второй формы дизъюнкции в многозначной V^{TF}-логике). Приведены: принцип расчёта истинности заключения на основе истинности посылок, стратегии объединения свидетельств, числовые меры, которые могут использоваться в ходе вывода.

Ключевые слова: *база знаний, верификация, противоречия, логики с векторной семантикой.*

Цитирование: *Аршинский, Л.В.* Логики с векторной семантикой как средство верификации баз знаний / Л.В. Аршинский, А.А. Ермаков, М.С. Нитежук // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4 (34). - С.510-521. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.

Введение

Знаниевое моделирование сегодня – один из основных способов описания трудноформализуемых предметных областей (ПрО). Не обладая сопоставимой с традиционным математическим моделированием предсказательной силой, неся в себе существенную долю субъективизма, оно, тем не менее, применимо всюду, где возможно человеческое суждение. Это делает его универсальным, хотя и ограниченным по возможностям инструментом описания любых выразимых словами сущностей. Несмотря на известную критику (см. напр. [1, 2]), альтернативы им пока не видно. Если традиционные математические (и не только) модели отражают свойства и отношения непосредственно ПрО, знаниевые модели отражают представление эксперта о ней. Это отдаляет их от исходного предмета, но позволяет использовать там, где другие подходы невозможны или малопригодны.

Сегодня известно несколько основных подходов к знаниевому моделированию. Каждый из них опирается на соответствующую модель знаний: сетевой, логический, продукционный, фреймовый [3]. Продукционный подход наиболее удобен в силу своей внешней простоты, модульности, «понятности» для человека. Он позволяет гибко перенастраивать модель, вводить в неё новые сущности и единицы знаний, хорошо подходит для организации (логического) вывода. Продукционное моделирование по своим выразительным возможностям со-

поставимо с универсальными алгоритмическими моделями [4]. В то же время знаниевые модели, имеющие вид баз знаний (БЗ), особенно логические и продукционные, могут нести в себе артефакты, снижающие или вовсе обнуляющие их ценность [5]. Появление таких артефактов может быть обусловлено субъективным характером моделей, результатом технических ошибок, иными причинами. В любом случае необходимо предусматривать проверки соответствующих БЗ на полноту, достоверность, непротиворечивость и иные «не-факторы» [6, 7], или хотя бы уверенно учитывать их с помощью соответствующих процедур. Причём, принимая во внимание большие размеры возможных БЗ, такие проверки должны по возможности проходить в автоматическом или автоматизированном режиме.

На сегодняшний день используются два основных подхода к продукционным моделям: на основе классической логики и на основе нечётких логик и множеств. Классическая логика плохо приспособлена для работы с указанными артефактами. Используемые в ней знания и факты должны быть строгими, точными, достоверными. Работая в категориях Истины и Лжи, она не допускает неполноты и противоречивости данных и знаний. Источникам данных приходится доверять или отвергать их, что затрудняет её использование в реальных ПрО.

Нечёткая логика лучше приспособлена для работы в реальной обстановке, когда сведения поступают из разных источников, могут противоречить друг другу, быть недостаточными, иметь разную степень достоверности и т.п. Последнее обусловлено более сложным представлением истинности. Вместо множества {0, 1} – {Ложь, Истина}, здесь используются её степени от 0 до 1 в виде рациональных дробей, лингвистических термов или просто отрезка [0, 1], либо его аналогов: [-1, 1], [-100, 100], [0, 100] и т.п. Это позволяет выразить сомнение в тех или иных сведениях, учитывать их неполноту, работать с противоречиями. Но и такая формализация ограничена и не позволяет, например, отличить неполноту сведений от их противоречивости. В обоих случаях истинность представляется числом 0.5 (всюду далее пользуемся отрезком [0, 1]), что обусловлено известным соотношением:

$$||a|| + ||\neg a|| = 1, \quad (1)$$

где a – некоторое суждение, $||\ldots||$ – его истинность, «¬» – символ отрицания.

Та же ситуация и при использовании теории вероятности – ещё одного популярного способа формализации правдоподобных рассуждений [8, 9].

Несколько лучше обстоят дела, когда точка заменяется отрезком [10] или строгое равенство (1) неравенством:

$$||a|| + ||\neg a|| \le 1,$$

как в теории свидетельств Г. Шафера [11].

В работах [12, 13], благодаря использованию теории логик с векторной семантикой, истинность представлена вектором с произвольным (в общем случае) числом компонентов: $||a|| = \langle a^1; a^2; \ldots; a^n \rangle$, $a^i \in [0, 1]$. Значение каждого компонента определяется своим комплексом свидетельств (истинность в этом смысле здесь конструктивна). Позиции компонентов в векторе называются аспектами истинности, а их значения – значениями этих аспектов. Главная особенность таких логик – в полном снятии требований непротиворечивости и исключенного n-го: компоненты принимают значения независимо друг от друга, и сколько бы ни было аспектов, всегда можно предполагать наличие $(n + 1)$-го, который проецируется в начало координат.

Наиболее изученным подклассом данных логик стала V^{TF}-логика, в которой вектор истинности произвольного суждения a имеет два компонента: $\langle a^+; a^- \rangle$. Значение первого компонента (*Истина*) - определяется свидетельствами подтверждающими, а второго (*Ложь*) – опровергающими a [12]. Именно этот вид логик предлагается использовать для верификации знаниевых моделей.

1 Логики с векторной семантикой как основа верификации

В логиках с векторными семантиками отсутствие сведений об изучаемых объектах формализуется вектором ⟨0;…; 0⟩, а противоречие есть ситуация, когда компоненты логически исключают друг друга и при этом хотя бы два из них отличны от нуля. Каждый компонент формируется свидетельствами в его пользу. Недоверие к источникам, их ненадёжность приводят к значениям компонентов меньше единицы. Единица означает абсолютное доверие. С абсолютным доверием можно отнестись, в том числе, и к противоречащим друг другу источникам, что порождает вектор вида ⟨1;…; 1⟩. То есть источник противоречия видится в разноречивости свидетельств.

В V^{TF}-логиках предельные случаи выражаются векторами ⟨0; 0⟩ и ⟨1; 1⟩. В [14] представлен интервальный вариант таких логик, когда значения компонентов являются подынтервалами отрезка [0, 1]. Компоненты в векторе делятся на *позитивные* и *негативные*. В частности, для V^{TF} аспект *Истина* позитивный, аспект *Ложь* – негативный. Рост позитивного аспекта означает рост уверенности суждения реальности, рост негативного – её снижение.

Верификация означает организацию логического вывода, выявляющего ситуации, близкие к неопределённости ⟨0;…; 0⟩ или полному противоречию ⟨1;…; 1⟩ при тех или иных сочетаниях истинности входных фактов. Самое полезное здесь – это способность таких логик работать с ситуациями, близкими к неопределённости или полному противоречию, так же естественно, как со строгой истиной или строгой ложью. Под последними понимаются суждения, в которых все позитивные компоненты равны единице, а все негативные – нулю: строгая истина ⟨1; 0⟩ и строгая ложь ⟨0; 1⟩.

Вывод в подобных логиках носит присоединённый характер, когда каждый шаг вывода сопровождается расчётом истинности заключения на основе истинности посылок [8, 15] и осуществляется на основе правила *modus ponens* с шагом в виде [12]:

$$a,\ a\to b \vdash b:\ \|b\| = \|a\ \&i\| \div \|\neg a \vee i\|, \tag{2}$$

где ||…|| – истинность суждения, через двоеточие указана схема расчёта истинности заключения на основе истинности посылок, $i = a\to b$ – импликация «если a, то b», «&» – конъюнкция (01-композиция), «∨» – дизъюнкция (10-композиция); знак «├» отделяет посылки от заключения, знак «÷» использован для обозначения диапазона векторов истинности:

$$\|b\| = \langle [a^{+}\bullet i^{+},\ a^{-}\oplus i^{+}];\ [a^{+}\bullet i^{-},\ a^{-}\oplus i^{-}]\rangle. \tag{3}$$

Здесь для V^{TF}-логик истинность конъюнкции и дизъюнкции (точнее, *первых форм* конъюнкции и дизъюнкции, которые в случае строгой истины и строгой лжи совпадают с конъюнкцией и дизъюнкцией в обычном смысле [12]) определяются как

$$\|a\&b\| = \langle a^{+}\bullet b^{+};\ a^{-}\oplus b^{-}\rangle,\ \|a\vee b\| = \langle a^{+}\oplus b^{+};\ a^{-}\bullet b^{-}\rangle,$$

где $\bullet$ – триангулированная норма (t-норма), а $\oplus$ – триангулированная ко-норма (s-норма) в инфиксной записи. Данные нормы определяются аксиомами [16, 17] ($x, y \in [0, 1]$):

1) $x\bullet y = y\bullet x$;
2) $x\bullet(y\bullet z) = (y\bullet x)\bullet z$;
3) $x\bullet y_1 \le x\bullet y_2$ если и только если $y_1 \le y_2$;
4) $x\bullet 1 = x$.

Аналогично:

1) $x\oplus y = y\oplus x$;
2) $x\oplus(y\oplus z) = (y\oplus x)\oplus z$;
3) $x\oplus y_1 \le x\oplus y_2$ если и только если $y_1 \le y_2$;
4) $x\oplus 0 = x$.

Для перехода от V^{TF} к классической логике при строго истинных и строго ложных суждениях от них дополнительно требуется выполнимость свойств [12]:

1) $x \bullet y = 1-(1-x) \oplus (1-y)$;
2) $x \oplus y = 1-(1-x) \bullet (1-y)$.

Из аксиом вытекает, в частности, что:

(4) $$x \bullet 0 = 0 \text{ и } x \oplus 1 = 1.$$

Известными примерами норм выступают $x \bullet y = xy$ и $x \oplus y = x+y-xy$, а также $x \bullet y = min(x,y)$ и $x \oplus y = max(x,y)$ [17, 18].

В случае логик с произвольным числом компонентов *t*-норма для первой формы конъюнкции используется для позитивных, *s*-норма – для негативных компонентов. Для первой формы дизъюнкции – наоборот [13].

Поскольку для верификации, как правило, достаточно пользоваться категориями *Истины* и *Лжи*, далее применяются только V^{TF}-логики.

В антецедентах больших посылок естественно-языковые связки И, ИЛИ формализуются, соответственно, первыми формами конъюнкции и дизъюнкции, а связка НЕ – отрицанием в форме перестановки: $\|\neg a\| = \langle a^-; a^+ \rangle$.

2 Логический вывод и верификация

В качестве основы верификации принят логический вывод в V^{TF}-логиках.

Если обе посылки строго истинны или близки к этому, то позитивный компонент близок к 1, негативный к 0. Согласно (2), (3) это условие формирует множество значений вектора истинности в прямоугольнике $[a^+ \bullet i^+, a^- \oplus i^+] \times [a^+ \bullet i^-, a^- \oplus i^-]$, который при стремлении истинности посылок к $\langle 1; 0 \rangle$ (строгая истинность) стягивается в точку $[1, 1] \times [0, 0]$. То есть истинные посылки влекут истинное заключение. Если БЗ не содержит внутренних дефектов, эта ситуация должна наблюдаться для любых допустимых значений истинности входных данных.

Ситуация меняется, когда знаниевая модель содержит артефакты. В данном случае это означает попадание на вход логического вывода (2) ложных, неопределённых или противоречивых утверждений. Возможны следующие варианты ситуации.

I. Одна из посылок ложная или строго ложная: $\langle 0; 1 \rangle$. При строго ложной малой посылке согласно (2) и (3) получаем: $\|b\| = \langle [0 \bullet i^+, 1 \oplus i^+]; [0 \bullet i^-, 1 \oplus i^-] \rangle = \langle [0, 1]; [0, 1] \rangle$.
Областью возможных значений вектора истинности заключения становится весь квадрат $[0,1] \times [0,1]$, что делает значение $\|b\|$ максимально размытым и неточным. В этом смысле энтропия истинности здесь максимальна.

При строго ложной большой посылке значение истинности заключения попадает в область, близкую строгой лжи: $\|b\| = \langle [a^+ \bullet 0, a^- \oplus 0]; [a^+ \bullet 1, a^- \oplus 1] \rangle = \langle [0, a^-]; [a^+, 1] \rangle$.

Таким образом, если ложность малой посылки делает истинность заключения неизвестной, ложность большой порождает ложь в заключении.

II. Одна из посылок неопределённа: $\langle 0; 0 \rangle$. Также рассмотрим неопределённость отдельно малой и большой посылок. Для малой посылки получается:

$$\|b\| = \langle [0 \bullet i^+, 0 \oplus i^+]; [0 \bullet i^-, 0 \oplus i^-] \rangle = \langle [0, i^+]; [0, i^-] \rangle.$$

Неопределённость малой посылки помещает вектор истинности заключения в область $[0, i^+] \times [0, i^-]$. Размер и границы этой области задаются вектором $\|i\|$.

При неопределённости в импликации получаем:

$$\|b\| = \langle [a^+ \bullet 0, a^- \oplus 0]; [a^+ \bullet 0, a^- \oplus 0] \rangle = \langle [0, a^-]; [0, a^-] \rangle.$$

Иначе говоря, областью истинности вектора $||b||$ оказывается квадрат со сторонами $[0, a^-]\times[0, a^-]$. Если малая посылка строго истинная или близка к таковой, неопределённость большой посылки порождает неопределённость заключения (вектор $||b||$ расположен около точки $\langle 0; 0\rangle$). Если же она строго ложная, приходим к уже известному квадрату $[0, 1]\times[0, 1]$ (рисунки 1 и 2).

Неопределённость и малой, и большой посылок приводит к неопределённости в заключении. При этом при высокой степени правдоподобия малой посылки неопределённость, порождаемая большой посылкой, существенна.

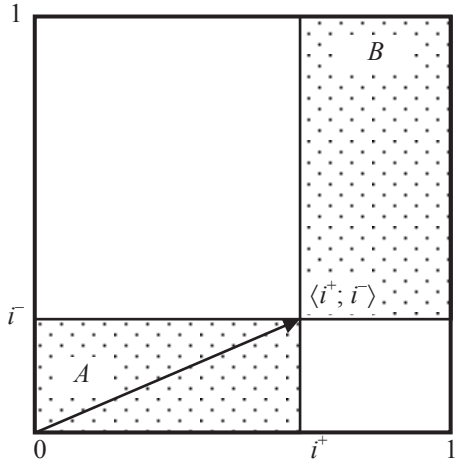


Рисунок 1 – Области неопределённости (A) и противоречивости (B) при неопределённости и противоречивости малой посылки

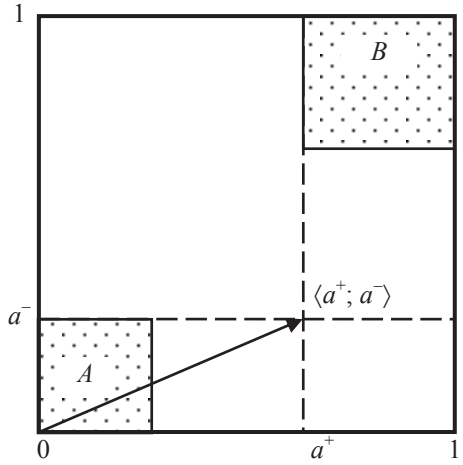


Рисунок 2 – Области неопределённости (A) и противоречивости (B) при неопределённости и противоречивости большой посылки

III. Одна из посылок противоречива: $\langle 1; 1\rangle$. Если это малая посылка, то:

$$||b|| = \langle [1\bullet i^+, 1\oplus i^+]; [1\bullet i^-, 1\oplus i^-]\rangle = \langle [i^+,1]; [i^-,1]\rangle.$$

Это область $[i^+, 1]\times[i^-, 1]$ – относительно близкая к $\langle 1; 1\rangle$ (точнее, к $[1, 1]\times[0, 1]$).

Если противоречива посылка большая: $||b|| = \langle [a^+, 1]; [a^+, 1]\rangle$.

То есть при достаточно достоверной малой посылке вновь получается область, близкая к $\langle 1; 1\rangle$ (рисунки 1 и 2). Если же она строго ложная или близкая к таковой – весь или почти весь квадрат $[0, 1]\times[0, 1]$.

Таким образом, противоречивость как малой, так и большой посылок приводит к противоречивости заключения.

Для количественного определения величины определённости, противоречивости, неопределённости, строгости и т.д. разработаны соответствующие числовые меры [12, 18].

Мера определённости (*определённость*): $\mu_o(b) = b^+ \oplus b^-$, где $\mu_o(b)\in[0, 1]$. Данный показатель характеризует степень «удалённости» $||b||$ от $\langle 0; 0\rangle$. Он равен 0, если $||b|| = \langle 0; 0\rangle$ и равен 1, когда хотя бы один из компонентов вектора истинности есть 1.

Мера противоречия (*противоречивость*): $\mu_п(b) = b^+ \bullet b^-$, где $\mu_п(b)\in[0, 1]$. Данный показатель характеризует близость b к $\langle 1; 1\rangle$. Он равен единице для $\langle 1; 1\rangle$ и нулю, когда хотя бы один из компонентов вектора $||b||$ есть ноль.

Мера строгости (*строгость*): $\mu_c(b) = \mu_o(b) - \mu_п(b) = b^+\oplus b^- - b^+\bullet b^-$, где $\mu_c(b)\in[0, 1]$. Назначение этого показателя – оценивать, насколько $||b||$ близко к $\langle 1; 0\rangle$ или $\langle 0; 1\rangle$. Он достигает максимума 1, когда $||b|| = \langle 1; 0\rangle$, или $||b|| = \langle 0; 1\rangle$ и минимума 0, когда $||b|| = \langle 0; 0\rangle$, или $||b|| = \langle 1; 1\rangle$.

Мера достоверности (*достоверность*): $\mu_д(b) = b^+ - b^-$, где $\mu_д(b) \in [-1, 1]$. Показатель принимает значение 1 для строго истинных и −1 для строго ложных суждений. Содержательно данный показатель близок к предыдущему, однако позволяет определить не просто близость $||b||$ к $\langle 1; 0\rangle$ или $\langle 0; 1\rangle$, но уточнить конкретный случай. На его основе можно сформировать ещё один вариант меры строгости: $\mu_с(b) = |\mu_д(b)| = |b^+ - b^-|$.

Мера избыточности (*избыточность*): $\mu_и(b) = b^+ + b^- - 1$. Показатель равен −1 для неопределённости и 1 для полного противоречия. Это – своеобразный аналог показателя достоверности для оси «Неопределённость-Противоречие». Равенство 0 здесь означает выполнение соотношения $b^- = 1 - b^+$, характерного для нечётких логик. Позитивные и негативные свидетельства в этом случае «сбалансированы». Нулевой баланс существует, в частности, когда отсутствие свидетельств «за» рассматривается как свидетельство «против», а отсутствие свидетельств «против» – как свидетельство «за». Это типично для нечётких логик.

Абсолютное значение избыточности рассматривается как мера логического дисбаланса суждения b (степень нарушения соотношения «логического баланса» $b^+ + b^- = 1$):

$$\mu_{дис}(b) = |b^+ + b^- - 1|.$$

Показатель равен 0 для классической и нечёткой логик и стремится к единице, если суждение становится в значительной степени противоречивым или неопределённым.

При интервальном представлении вектора истинности показатели можно рассчитывать относительно центра прямоугольной фигуры как репрезентативного значения вектора $||b||$. Причём для прямоугольника $[b^+_1; b^+_2]\times[b^-_1; b^-_2]$ можно ввести меру точности определения вектора согласно формуле:

$$\mu_т(b) = 1 - sqrt([(b^+_2 - b^+_1)^2 + (b^-_2 - b^-_1)^2] / 2).$$

Когда область возможных значений вектора охватывает весь квадрат $[0, 1]\times[0, 1]$, эта мера равна нулю, когда стягивается в точку – единице. Величину:

$$\varepsilon(b) = sqrt([(b^+_2 - b^+_1)^2 + (b^-_2 - b^-_1)^2] / 2)$$

можно рассматривать как своеобразный показатель энтропии истинности суждения b при интервальных значениях $||b||$.

3 Методы верификации

Главное предположение – артефакты знаниевой модели есть результат её структуры, но не истинностных значений посылок; последствия артефактов проявятся при любых допустимых значениях истинности стартовых (входных) посылок, вовлекших артефакт в процесс логического вывода.

К последствиям артефактов относятся:

I. Неучастие единицы знаний в выводе при всех (допустимых) значениях истинности входных посылок.

II. Неопределённость заключения при некоторых (допустимых) значениях истинности входных посылок и наличие нигде не используемых терминов.

III. Противоречивость заключения при некоторых (допустимых) значениях истинности входных посылок.

Верифицировать в данном случае – это установить, что *при допустимых значениях истинности входных посылок ситуации* I-III *не возникают.*

В разделе 2 показано, что ложь, неопределённость и противоречие импликаций порождают аналогичные последствия в заключениях. Можно сразу исключить такие единицы зна-

ний из обсуждения, тем более, что разработчики БЗ вряд ли станут их вводить[1]. Источником проблем будут конфликты единиц знаний и входных данных, приводящие к ложным, неопределённым, противоречивым или близким к этому заключениям на разных этапах вывода. *Вопрос верификации есть вопрос организации вывода, который вскроет артефакты*.

Если активизировать только продукции со строго истинным антецедентом, «плохие» продукции никогда не активизируются. Следовательно, соответствующие артефакты можно выявить простым подсчётом числа активаций продукций при переборе всех допустимых значений входных посылок. Продукции с нулевым числом срабатываний могут быть исключены из БЗ как дефектные либо избыточные.

Появление неопределённости ⟨0; 0⟩ в ходе вывода в первую очередь связывается с обрывом цепочек рассуждений. В условиях, когда на вход подаются только строго истинные или строго ложные суждения, обрыв возникает исключительно тогда, когда антецедент правила строго ложен. Это возвращает к предыдущему случаю. Соответствующая продукция не срабатывает, и её консеквент остаётся неопределённым. Вывод при этом можно не останавливать, на выходе получается та же неопределённость, после чего обратной трассировкой можно выяснить источник проблемы. Однако представляется, что эффективнее будет его остановить по условию низкого значения меры определённости $\mu_{\text{о}}(b)$. Если такое же требование ввести и для достоверности – останов при малом значении меры достоверности $\mu_{\text{д}}(b)$, – то оба случая укладываются в следующую схему:

1) объявить все продукции строго истинными (запомнив, при необходимости, первоначальные значения их истинности, выставленные экспертами);
2) выставить значения истинности входных посылок в одну из допустимых комбинаций ⟨1; 0⟩ или ⟨0; 1⟩, а истинность промежуточных и терминальных заключений в ⟨0; 0⟩;
3) возвращаясь к шагу 2, выполнить прямой логический вывод, перебирая все допустимые значения истинности входных посылок в виде комбинаций строгой истины и строгой лжи и подсчитывая число срабатываний каждой продукции;
4) при обнаружении продукций с нулевым числом срабатываний переработать их или удалить из БЗ;
5) вернуть исходные значения истинности оставшихся продукций;
6) КОНЕЦ.

Сложнее ситуация с противоречиями. Выявление противоречий опирается на отмеченное в разделе 2 свойство вывода в V^{TF}-логиках: перенос противоречия из посылки в заключение. Это означает, что если в ходе рассуждений истинность некоторого промежуточного заключения примет противоречивое значение, эта особенность пройдёт через весь последующий вывод и проявится в истинности терминальных утверждений – гипотез. Появление этих особенностей – сигнал о неблагополучии в БЗ. Обратной трассировкой вывода можно найти и его источник – артефакт. Алгоритм может выглядеть так:

1) объявить продукции строго истинными (запомнив значения истинности, выставленные экспертами);
2) выставить значения истинности входных посылок в одну из допустимых комбинаций ⟨1; 0⟩ или ⟨0; 1⟩, а истинность промежуточных и терминальных заключений (гипотез) в ⟨0; 0⟩;
3) выполнить прямой логический вывод, получив истинность заключений (гипотез);
4) проверить истинность заключений на допустимость;
5) если заключение недопустимо (вектор истинности равен ⟨1; 1⟩), то:

[1] На практике подобные единицы знаний могут быть введены в БЗ как непреднамеренно, так и преднамеренно. *Прим. ред.*

5.1) выполнить обратную трассировку вывода для выяснения источника проблемы – артефакта БЗ;
5.2) устранить артефакт (или внести его в соответствующий список);
5.3) вернуться к шагу 2;

6) если не все возможные входные значения посылок проверены, то вернуться к шагу 2;
7) вернуть исходные значения истинности продукций;
8) КОНЕЦ.

Противоречивость того или другого утверждения формируется, когда, например, две цепочки вывода приходят к двум взаимоисключающим результатам: b и $\neg b$. Противоречие $\langle 1; 1\rangle$ в этом случае – результат обязательной для такого вывода процедуры объединения свидетельств. Нигде не используемые термины обнаруживаются отсутствием привязки к продукциям. Данное обстоятельство вскрывается также обратной трассировкой от гипотез к входным фактам. Не используемые термины не попадают ни в одну из потенциальных цепочек вывода.

4 Объединение свидетельств как часть логического вывода

Объединение свидетельств – важнейшая составляющая присоединённого правдоподобного вывода [19]. Его цель – объединение истинностных значений суждения, полученного по разным цепочкам вывода. В том числе, когда по одной из цепочек получено заключение b, а по другой $\neg b$ (противоречие). Рассматриваются понятия 10-, 01-, 11- и 00-композиций в V^{TF}-логиках.

10-композицией называется суждение, образованное из b_1 и b_2 с вектором истинности $\langle b_1^{+}\oplus b_2^{+}; b_1^{+}\bullet b_2^{+}\rangle$. Своими свойствами она повторяет классическую дизъюнкцию и потому называется также первой формой дизъюнкции: $\|b_1\vee b_2\| = \langle b_1^{+}\oplus b_2^{+}; b_1^{+}\bullet b_2^{+}\rangle$.

01-композицией называется суждение, образованное из b_1 и b_2 с вектором истинности $\langle b_1^{+}\bullet b_2^{+}; b_1^{+}\oplus b_2^{+}\rangle$. Она соответствует классической конъюнкции и названа первой формой конъюнкции: $\|b_1\&b_2\| = \langle b_1^{+}\bullet b_2^{+}; b_1^{+}\oplus b_2^{+}\rangle$.

11-композицией называется суждение, образованное из b_1 и b_2 с вектором истинности $\langle b_1^{+}\oplus b_2^{+}; b_1^{+}\oplus b_2^{+}\rangle$. Аналогов в классической и нечёткой логике эта связка не имеет. Она названа *второй формой дизъюнкции*: $\|b_1\vee_{\mathbf{2}} b_2\| = \langle b_1^{+}\oplus b_2^{+}; b_1^{+}\oplus b_2^{+}\rangle$.

00-композицией называется суждение, образованное из b_1 и b_2 с вектором истинности $\langle b_1^{+}\bullet b_2^{+}; b_1^{+}\bullet b_2^{+}\rangle$. В классической и нечёткой логике данная связка тоже не имеет аналогов. Она названа *второй формой конъюнкции*: $\|b_1\&_{\mathbf{2}} b_2\| = \langle b_1^{+}\bullet b_2^{+}; b_1^{+}\bullet b_2^{+}\rangle$.

Если первые формы дизъюнкции и конъюнкции соответствуют связкам ИЛИ и И в обычном смысле, то вторые формы – это связки ИЛИ и И в информационном смысле: они дают рост как позитивного, так и негативного компонентов для ИЛИ и некое минимальное гарантированное значение этих компонентов для И.

В случае n-мерного вектора истинности вторая форма дизъюнкции – это s-норма $\oplus$ для всех компонентов вектора, в случае второй формы конъюнкции – t-норма $\bullet$ также для всех компонентов вектора истинности. С учётом этих особенностей V^{TF}-логики имеют богатый арсенал способов объединения. В частности, рассматриваются следующие стратегии [20]:

1) объединение по схеме 10/11-*композиции* – стратегия *нарастающего доверия*. Векторы $\|b\|$ и $\|\neg b\|$ объединяются по-отдельности по правилу 10-композиции (дизъюнкции). После того, как объединены все свидетельства в пользу b и все свидетельства в пользу $\neg b$, векторы $\|b\|$ и $\|\neg b\|$ складываются в единый вектор по правилу 11-композиции. Доверие к b возрастает по мере получения утвердительных доказательств факта, доверие к $\neg b$ – по

мере вывода его отрицаний. Наличие «сильных» доказательств того и другого ведёт к противоречию в b.

2) объединение по схеме 01/00-*композиции* – стратегия *нарастания недоверия*. Свидетельства в пользу b и свидетельства в пользу $\neg b$ объединяются по-отдельности на основе 01-композиции (конъюнкции). После объединения всех свидетельств оба результирующих вектора объединяются по правилу 00-композиции. В результате доверие и к b, и к $\neg b$ будет тем меньше, чем менее убедительны соответствующие свидетельства. Общий результат даёт гарантированный минимум доверия к факту и его отрицанию, определяемый худшими из подтверждающих и опровергающих свидетельств.
3) объединение по схеме 11-*композиции* – стратегия *полного доверия*. Доверяют «без разора» и подтверждающим, и опровергающим свидетельствам. Вариант стратегии нарастающего доверия, но здесь быстрее растёт степень противоречивости факта.
4) объединение по схеме 00-*композиции* – стратегия *полного недоверия*. Доверяют «худшим» из подтверждающих и опровергающих свидетельств. Вариант стратегии нарастающего недоверия, но здесь быстрее растёт степень неопределённости факта. В итоге это может привести к неопределённому $\langle 0; 0\rangle$ восприятию факта: «не верю ни чему».
5) объединение по схеме 10-*композиции* – стратегия *безудержного оптимизма*. Всё решают свидетельства в пользу b.
6) объединение по схеме 01-*композиции* – стратегия *безудержного пессимизма*. Всё решают свидетельства в пользу $\neg b$.
7) объединение по правилу среднего (арифметического, геометрического и т.д.) – стратегия *осторожной веры*. Свидетельства «за» и «против» усредняются.

Для заявленной цели наиболее подходящими являются стратегии «нарастающего доверия» - 1 и «полного доверия» – 3. И тот и другой подходы при получении заключений b и $\neg b$ генерируют вектор истинности $\langle 1; 1\rangle$. Например, если по некоторой ветви вывода получено заключение b с истинностью $\|b\| = \langle 1; 0\rangle$, а по другой $\neg b$ также с истинностью $\|\neg b\| = \langle 1; 0\rangle$, то объединение на основе 11-композиции даёт (с учётом, что $\|\neg b\| = \langle b^{-}; b^{+}\rangle$) полное противоречие: $\|b\| = \langle 1\oplus 0; 0\oplus 1\rangle = \langle 1; 1\rangle$.

Принимая во внимание свойство противоречия в посылке генерировать противоречие в заключении, следует сделать вывод, что противоречивым оказывается и терминальное утверждение – гипотеза. Это – сигнал о противоречии в БЗ, и необходимо обратиться к алгоритму, приведённому в разделе 3.

Заключение

В работе рассмотрены общие вопросы формализации поиска артефактов в продукционных БЗ на основе логик с векторной семантикой в варианте V^{TF}-логики. Алгоритмизация рассматривается как организация прямого присоединенного логического вывода, вскрывающего артефакты БЗ. Рассмотрены три случая обнаружения артефактов БЗ.

I. Ложность антецедента какой-либо продукции при всех допустимых значениях истинности входных посылок, что приводит к обрыву цепочки вывода и неиспользованию соответствующей продукции.

II. Неопределённое значение истинности $\langle 0; 0\rangle$ консеквента продукции при тех или иных допустимых значениях истинности входных посылок, что также влечёт неиспользованием продукции.

III. Появление противоречия в выводе в виде вектора истинности $\langle 1; 1\rangle$ на одном из шагов рассуждений.

Первые два случая предложено обнаруживать подсчётом числа срабатываний каждой продукции. Продукция с нулевым количеством срабатываний является подозрительной на артефакт. Для выявления неактивных единиц знаний рекомендуется останавливать вывод не только по условию ложности, но и по условию неопределённости антецедента продукции, для чего использовать меры достоверности и определённости.

Третий случай выявляется выводом с проверкой истинности заключений - гипотез. Наличие заключения с истинностью ⟨1; 1⟩ (полное противоречие) сигнализирует о противоречии на одном из этапов рассуждений. Так как противоречие в посылках порождает противоречие в заключении, обратная трассировка вывода позволяет обнаружить момент и причину появления противоречия, указывая артефакт. Необходимым этапом такого вывода является объединение свидетельств с использованием 11-композиции (второй формы дизъюнкции).

Список источников

[1] ***Макаренко, С.И.*** Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие / С.И. Макаренко. - Ставрополь: СФ МГТУ им М.А. Шолохова, 2009. - 206 с.

[2] ***Marcot, B.*** Testing your knowledge base / B. Marcot // AI Expert. - 1987. - August. – P. 43-47.

[3] ***Гаврилова, Т.А.*** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб: Питер, 2000. - 384 с.

[4] ***Post, E.L.*** Formal Reductions of the General Combination Decision Problem / E.L. Post // American Journal of Mathematics. - 1943. - V. 65. - P. 197-215.

[5] ***Рыбина, Г.В.*** Основы построения интеллектуальных информационных систем / Г.В. Рыбина. - М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2010. - 432 с.

[6] ***Нариньяни, А.С.*** Недоопределённые модели и операции с недоопределёнными значениями / А.С. Нариньяни. - Препринт ВЦ СО АН СССР № 400, 1982.

[7] ***Нариньяни, А.С.*** Недоопределённость в системах представления и обработки знаний / А.С. Нариньяни // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика/ - 1986. - № 5. - С. 3-28.

[8] Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2 Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990. - 304 с.

[9] ***Giarratano, J.C.*** Expert Systems: Principles and Programming / J.C. Giarratano, G.D. Riley. 4th ed. Course Technology. Boston: PWS Publ. Co, 2004 (Russ. ed.: Moscow, Williams Publ., 2007. - 1152 p.

[10] ***Quinlan, J.R.*** INFERNO: a causations approach to uncertain inference / J.R. Quinlan // The computer J. - 1983. - V. 26, No. 3. - P.255-269.

[11] ***Shafer, G.*** A Mathematical Theory of Evidence / G. Shafer. - Princeton and London: Princeton University Press, 1976. - 297 p.

[12] ***Аршинский, Л.В.*** Методы обработки нестрогих высказываний / Л.В. Аршинский. - Иркутск. Изд-во Восточно-Сибирского института МВД России, 1998. - 40 с.

[13] ***Аршинский, Л.В.*** Векторные логики: основания, концепции, модели / Л.В. Аршинский. - Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2007. - 228 с.

[14] ***Аршинский, Л.В.*** Интервальное оценивание истинности в системах автоматизированных рассуждений на основе V^{TF}-логик / Л.В. Аршинский // Идентификация систем и задачи управления: Труды IV международной конференции SICPRO'05. - М.: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2005. - С. 1061-1074.

[15] ***Хачатрян, А.Р.*** Анализ классических методов объединения свидетельств в экспертных системах / А.Р. Хачатрян // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. - 1987. - № 5. - С. 67-73.

[16] ***Menger, K***. Statistical metrics / K. Menger // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. - 1942. – No. 8. - P. 535-537.

[17] ***Gottwald, S.*** Treatise on Many-Valued Logics / S. Gottwald. - Leipzig, 2000. - 604 p.

[18] ***Аршинский, Л.В.*** Содержательный и формальный вывод в логиках с векторной семантикой / Л.В. Аршинский // Автоматика и телемеханика. - 2007. - № 1. - С. 153-162.

[19] Нечёткая логика в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 312 с.

[20] ***Аршинский, Л.В.*** Особенности работы машины вывода системы моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит» / Л.В. Аршинский // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2016. - №2. - С.18-29.

LOGIC WITH VECTOR SEMANTIC AS A MEANS OF KNOWLEDGE BASES VERIFICATION

L.V. Arshinskiy[1], A.A. Ermakov[2], M.S. Nitezhuk[3]

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia
[1] larsh@mail.ru, [2] anatolij.ermackow2011@yandex.ru, [3] marino_@mail.ru

Abstract

The paper discusses the general issues of automated search of artifacts in rule-based knowledge bases (KB) based on logic with vector semantics in the VTF-logic variant. Cases of falsity of antecedent of rules at all admissible values of truth of input premises, existence of terms which are not used anywhere and generation of uncertain values of truth, emergence of contradictions are considered. Automation is considered as the organization of the direct attached logical inference opening artifacts of KB. The first two cases are identified by counting the number of each rule triggering and identifying terms that are not tied to the rules. The contradiction is revealed by the verification of the truth of the conclusions-hypotheses. The presence of a conclusion with truth (1; 1) (complete contradiction) signals a contradiction at one of the stages of reasoning, which is set by the back trace of the logical chain. A necessary stage of inference is to combine the evidence using 11-composition (the second form of disjunction). The paper also presents the principle of calculating the truth of the conclusion based on the truth of the premises, the strategy of combining evidence, numerical measures that can be used in the conclusion.

Key words: *knowledge base, verification, contradictions, logic with vector semantics*

Citation: *Arshinskiy LV, Ermakov AA, Nitezhuk MS.* Logic with vector semantic as a means of knowledge bases verification [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 510-521. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.

References

[1] ***Makarenko SI.*** Intellektualnyye informatsionnyye sistemy: ucheb. posobiye [Intelligent information systems: textbook] [In Russian]. Stavropol: SF MGTU im M.A. Sholokhova. 2009. - 206 p.
[2] ***Marcot B.*** Testing your knowledge base / AI Expert. August. 1987. - P.43-47.
[3] ***Gavrilova TA, Khoroshevskiy VF.*** Bazy znaniy intellektualnykh system [Knowledge bases of intelligent systems] [In Russian]. - SPb: Piter. 2000. - 384 p.
[4] ***Post EL.*** Formal Reductions of the General Combination Decision Problem / American Journal of Mathematics. 1943; 65: 197-215.
[5] ***Rybina GV.*** Osnovy postroyeniya intellektualnykh informatsionnykh sistem: ucheb. posob [Fundamentals of building intelligent information systems] [In Russian]. - M.: Finansy i statistika, INFRA-M, 2010. - 432 p.
[6] ***Nariniani AS.*** Nedoopredelennyye modeli i operatsii s nedoopredelennymi znacheniyami [Undefined models and operations with undefined values] [In Rusian]. - Preprint VTs SO AS USSR. № 400. 1982.
[7] ***Nariniani AS.*** Nedoopredelennost v sistemakh predstavleniya i obrabotki znaniy [Underdeterminacy in knowledge representation and processing systems] [In Russian]. Izv. AN SSSR. Tekhn. kibernetika. 1986; 5: 3-28.
[8] Iskusstvennyy intellekt. – V 3-kh kn. Kn. 2 Modeli i metody: Spravochnik / pod red. D.A.Pospelova [Artificial intelligence. – In 3 books. Book 2 Models and methods: Handbook / ed. D.A. Pospelov]. [In Russian] - M.: Radio i svyaz. 1990. - 304 p.
[9] ***Giarratano JC, Riley GD***. Expert Systems: Principles and Programming / 4th ed. Course Technology. Boston: PWS Publ. Co, 2004 (Russ. ed.: Moscow, Williams Publ., 2007, 1152 p.)
[10] ***Quinlan JR.*** INFERNO: a causations approach to uncertain inference / The computer J. 1983; 26(3): 255-269.
[11] ***Shafer G.*** A Mathematical Theory of Evidence / Princeton and London: Princeton University Press, 1976. 297 p.
[12] ***Arshinskiy LV.*** Metody obrabotki nestrogih vyskazyvanij [Methods of processing of nonstrict propositions] [In Russian]. - Irkutsk: East-Siberian Institute of MIA of Russia, 1998. - 40 p.
[13] ***Arshinskiy LV.*** Vektornye logiki: osnovanija, koncepcii, modeli [Vector logic: foundations, concepts, models] [In Russian]. Irkutsk: Irkutsk state university, 2007. - 228 p.
[14] ***Arshinskiy LV.*** Intervalnoye otsenivaniye istinnosti v sistemakh avtomatizirovannykh rassuzhdeniy na osnove V^{TF}-logik [Interval truth estimation in automated reasoning systems based on V^{TF}-logic] [In Russian]. - Identif-

ikatsiya sistem i zadachi upravleniya: Trudy IV mezhdunarodnoy konferentsii SICPRO'05 [Elektronnyy resurs]. Moskva: IPU RAN im. V.A. Trapeznikova. 2005. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). pp. 1061-1074.

[15] ***Khachatryan AR.*** Analiz klassicheskikh metodov obyedineniya svidetelstv v ekspertnykh sistemakh [Analysis of classical methods of combining evidence in expert systems] [In Russian]. Izv. AS USSR. Tekhn. kibernetika. 1987; 5: 67-73.

[16] ***Menger K***. Statistical metrics / Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1942. 8. - P.535-537.

[17] ***Gottwald S.*** Treatise on Many-Valued Logics. - Leipzig, 2000. - 604 p.

[18] ***Arshinskii LV.*** Substantial and formal deductions in logics with vector semantics [In Russian]. Automation and remote control, 2007; 68(1): 139-148.

[19] Nechetkaya logika v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta / pod red. D.A. Pospelova [Fuzzy logic in control and artificial intelligence models / ed. D.A. Pospelov] [In Russian]. - M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. 1986. - 312 p.

[20] ***Arshinskiy LV.*** Osobennosti raboty mashiny vyvoda sistemy modelirovaniya pravdopodobnykh rassuzhdeniy «Geraklit» [Features of the inference engine of system modeling plausible reasoning "Heraclitus"] /[In Russian]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii. 2016; 2: 18-29.

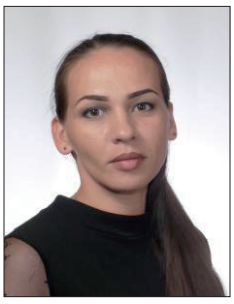
Сведения об авторах

Аршинский Леонид Вадимович, 1957 г. рождения. Окончил Иркутский государственный университет в 1979 г., д.т.н. (2008). Заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. В списке научных трудов более 200 работ в области околоэкранной аэродинамики, распознавания образов, моделирования правдоподобных рассуждений, агрегированного оценивания систем и др.

Leonid Vadimovich Arshinskiy (b.1957) graduated from the Irkutsk State University in 1979, Dr of Tech. Sc. (2008). He is the Head of the Department "Information Systems and Information Protection" at the Irkutsk State Transport University. He is the author of more than 200 scientific articles and abstracts in the field of aircraft with ground effect wings, image recognizing, plausible inference, aggregate evaluation of systems, etc.

Ермаков Анатолий Анатольевич, 1951 г. рождения. Окончил Киевское высшее военное авиационное инженерное училище в 1976 г., к.т.н. (1982). Профессор кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. В списке научных трудов около 70 работ в области технической диагностики, надёжности и эксплуатации сложных систем, распознавания образов др.

Anatoly Anatolyevich Ermakov (b. 1951) graduated from the Kiev Higher Military Aviation Engineering School in 1976, Ph.D. (1982). He is a Professor in the Department of Information Systems and Information Protection at the Irkutsk State Transport University. The list of scientific papers includes about 70 works in the field of technical diagnostics, reliability and operation of complex systems, pattern recognition, etc.



Нитежук Марина Сергеевна, 1984 г. рождения. Окончила Иркутский государственный университет путей сообщения в 2010 г. Старший преподаватель и аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. В списке научных трудов 7 работ в области информационных систем и технологий.

Marina Sergeevna Nitezhuk (b. 1984) graduated from the Irkutsk State Transport University in 2010. Senior lecturer and graduate student of the Information Systems and Information Protection department at Irkutsk State Transport University. The list of scientific works includes 7 works in the field of information systems and technologies.

УДК 004.85

АКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ОПИСАНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КУРСОВ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ОБЪЁМОВ ДАННЫХ

Ю.Д. Кленин

Институт информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий, Ханты-Мансийск, Россия
jklen@yandex.ru

Аннотация

В условиях постоянного роста объёмов учебных данных их «ручная» обработка не представляется возможной, уступая место различным моделям и методам машинного обучения. В то же время именно наличие обучающих выборок достаточного объёма позволяет современным алгоритмам машинного обучения хорошо справляться с базовыми прикладными задачами. Однако многие современные задачи сложны и узкоспециализированы. Это ограничивает количество данных, доступных для качественного обучения, снижая эффективность полностью автоматических систем. В работе рассматривается подход к задаче автоматизированного извлечения фактов из коллекций неразмеченных текстовых документов, в условиях малых объёмов учебных данных. Освещаются вопросы интеграции экспертных правил для конкретных предметных областей с обобщёнными, предметно-независимыми моделями машинного обучения, предварительно обученными на больших объёмах данных. Предложенный подход, опираясь на методику активного обучения, позволяет сократить трудозатраты эксперта, необходимые для эффективной генерации шаблонов извлекаемых фактов, сохраняя при этом высокое качество результатов работы системы. Применение предлагаемого метода поиска фактов по шаблону показано на примере задачи поиска информации о целевой аудитории в неструктурированном описании онлайн курсов.

Ключевые слова: *граф знаний, онтология, извлечение знаний, активное обучение, экспертные правила, машинное обучение, малые данные.*

Цитирование: *Кленин, Ю.Д.* Активное обучение для извлечения знаний из описаний образовательных курсов в условиях малых объёмов данных / Ю.Д. Кленин // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4(34). - С.522-535. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-522-535.

Введение

В постоянно растущем объёме доступной информации, значительную часть составляют различные коллекции слабо обработанных, «сырых» текстовых документов, как доступных публично, так и частных, проприетарных.

Подобная информация находит всё более широкое применение в самых различных задачах: от повышения продаж [1] до раннего выявления и предотвращения террористических угроз [2]. Таким образом, можно говорить о постоянном возрастании потребности в средствах автоматической и автоматизированной обработки текстовых данных.

Подходы к обработке данных можно разделить на два класса: использующие алгоритмы и модели машинного обучения и основывающиеся на системах экспертных правил [3, 4]. Машинное обучение представлено двумя группами алгоритмов: «с учителем» и «без учителя». Для обучения первых требуется наличие значительных объёмов качественно размеченных данных, которые, как правило, готовятся «вручную» для каждой конкретной задачи. Вторые способны обучаться на неразмеченных данных, однако, для качественного обучения нуждаются в значительно больших объёмах обучающей информации.

Обе группы хорошо справляются с общими, низкоуровневыми задачами, для которых существуют либо очень большие коллекции документов, либо качественные, созданные вручную разметки. Для задач более высокого уровня, а также для специальных задач, модели машинного обучения зачастую показывают себя хуже их аналогов на основе правил. Показательны в этом смысле итоги соревнований, прошедших в рамках конференции Диалог-2016. В задаче анализа тональности текстов на русском языке *SentiRuEval* [5] лучшие результаты были достигнуты участниками, применявшими метод опорных векторов и рекуррентные нейронные сети с использованием дополнительных коллекций для обучения моделей. Однако в соревновании по извлечению именованных сущностей и фактов из текстов на русском языке *FactRuEval* [6] системы на основе правил показали более высокие результаты в сравнении с алгоритмами машинного обучения. Организаторы соревнования отметили, что в задаче извлечения фактов малые размеры корпуса документов лишали возможности применить системы на основе машинного обучения. Тем не менее, значительная часть реально существующих корпусов документов и связанных с ними задач являются узкоспециализированными, ограниченными в объёмах доступной информации, что может вызывать трудности в работе моделей машинного обучения.

В статье внимание сосредоточено на задаче выделения знаний. Именно её решение позволит применять неразмеченные текстовые коллекции в качестве ресурсов для более сложных систем, таких как вопросно-ответные системы [7], системы автоматического резюмирования [8], системы поддержки принятия решений [9], системы борьбы с плагиатом [10] и др. Для этого предпринята попытка интеграции моделей машинного обучения, опирающихся на анализ больших коллекций данных, с системами на основе правил, стремящаяся совместить лучшие качества обоих подходов в целях качественного решения задачи автоматизированного извлечения фактов из ограниченных по размеру коллекций слабоструктурированных текстовых документов.

1 Моделирование знания

Первоочередным вопросом в задаче извлечения знаний, является выбор модели, используемой для работы с полученными фактами и их отображения. Наиболее популярными в инженерии знаний, на сегодняшний день, являются такие модели, как таксономия, семантическая сеть и онтология.

1.1 Таксономия

Таксономии, как правило, отражены как иерархии концептов, связанных отношением подтип-супертип, в котором каждый последующий уровень таксономии состоит из подтипов предыдущего. Математически таксономию можно описать следующим образом:

$$T = (C, H),$$

где C обозначает множество концептов, H - иерархию отношений между концептами.

1.2 Семантическая сеть

В семантических сетях выделяются такие компоненты как концепты и отношения, что позволяет применить графы для визуализации и использования модели, обозначая концепты вершинами и соединяя их ребрами-отношениями различных типов:

$$N = (C, R),$$

где C обозначает множество концептов, R - множество отношений между концептами.

1.3 Онтология

Онтологии имеют более сложную структуру, выделяя большее число типов элементов и связей между ними. Конкретный набор типов компонентов зависит от реализации модели. Как правило, онтологии включают следующие типы элементов: экземпляры, классы, атрибуты, и отношения. Экземпляры и классы являются двумя разновидностями объектов-вершин графа. Классы являются коллекциями объектов, в то время как экземпляры определяют конкретные объекты нижнего уровня. Внутренняя организация объектов усложнена также наличием атрибутов-свойств, описывающих конкретные аспекты объекта. Математически простейшая онтология определяется как

$$O = (I \cup C, R, A),$$

где I, C, R, A - множества экземпляров, классов, отношений и атрибутов соответственно.

2 Выделение знаний

Первичным этапом формирования графа знаний является определение и извлечение концептов. Наиболее распространённым подвидом этой задачи является извлечение именованных сущностей (*named entity recognition*, *NER*). Так, по результатам соревнования *wnut16* [11] в задаче извлечения и классификации именованных сущностей из сообщений сети *Twitter*, первое место занял подход, использующий двунаправленную нейронную сеть с долгой кратковременной памятью (*bidirectional long short-term memory*, *bi-LSTM*) [12], опирающуюся на символьные и словесные векторные представления.

В русскоязычном соревновании *FactRuEval-2016* [6] один из лучших результатов был достигнут системой, использующей тексты *Wikipedia* и базу знаний *Wikidata* для формирования словарей именованных сущностей [13]. Другая команда [14] добилась схожего результата, используя систему лаконичных правил извлечения фактов различных типов на основе синтактико-семантического дерева предложения. Основной проблемой данного подхода является привязанность к заранее определённым экспертами общим фактам конкретных типов, соответствующих именованным сущностям, что усложняет процесс расширения и дополнения системы.

Подходы, рассмотренные в [15-17] предлагают модели на основе *bi-LSTM*, обученных без использования синтаксической и грамматической информации, опираясь лишь на неразмеченный текст.

Более сложным этапом выделения знаний является выявление и классифицирование отношений между сущностями. В ряде работ [18, 19] используются свёрточные нейронные сети (*convolutional neural networks*, *CNN*), восполняющие необходимость в тренировочной разметке с помощью автоматической разметки на основе графа знаний.

Известны схожие исследования, которые опираются на нейронные сети для разметки типов отношений, использующие синтаксическую структуру обрабатываемого текста, включая синтаксические деревья предложений [20–22]. Так в [20] использована особая архитектура *graph-LSTM*, на вход которой подаётся информация как о порядке слов в предложении, так и о порядке участников синтаксического дерева фразы. В работах [21, 22] показана эффективность использования слоя внимания, который автоматически обучается определять важность той или иной составляющей предложения.

Примерами комплексного подхода к извлечению знаний можно считать алгоритмы инженерии онтологий. Один такой подход, опирающийся на набор экспертных правил, описан в [23], где рассмотрен процесс генерации онтологии на основе коллекции «*is-a*» фактов: предложений, содержащих формальные определения тех или иных понятий на английском

языке. Подход на основе глубокого обучения и использования рекуррентных сетей предложен в [24]. Здесь нейросетевая модель обучается автоматически переводить простые предложения с определениями из неразмеченного вида в размеченный в формате *OWL*.

Альтернативный вариант составления онтологии - конкретно, на основе тематического состава документов, - изложен в работе [25], где предлагается автоматически наполнять онтологию терминов исходя из результатов тематического моделирования коллекции.

Ограничением упомянутых методов является их ориентация на конкретную структуру предложений.

В статье [26] рассмотрена возможность использования машинного перевода и нейронных сетей в задаче преобразования неструктурированного текста в структурированную разметку. Такой подход требует большого объёма данных для обучения, что ограничивает возможности его использования.

3 Активное обучение в условиях нехватки данных

Одним из способов преодоления ограниченности коллекций является активное обучение, которое позволяет сократить затраты труда экспертов: моделям, использующим данный подход, предоставляется возможность интерактивно взаимодействовать с экспертом в процессе обучения, с целью выделения данных, «ручная» разметка которых принесла бы наибольшую пользу обучаемой модели.

Наиболее сложным в активном обучении является выбор принципа отбора данных для обработки экспертом. Основными алгоритмами отбора являются случайный отбор и отбор тех примеров, в которых система наименее уверена. Уверенность для каждого примера определяется вероятностью ответа. В [27] показано применение различных алгоритмов отбора на примере задачи *NER* в медицине. Авторы [28] математически показывают, что традиционная неуверенность имеет «предвзятость» к выбору более длинных предложений, предлагают алгоритмы *MNLP* (*Maximum Normalized Log-Probability*) и *BALD* (*Bayesian Active Learning by Disagreement*), снижающие требуемый объём данных до одной четвертой.

Другой подход на основе идеи разнообразия предложен в [29], где алгоритм группирует примеры по близости их структур (учитывая части речи и синтаксические роли элементов текста). Схожий метод применяется и в [30].

В работе [31] вместо статистической оценки каждого примера предложено использовать марковский процесс принятия решений в выборе новых примеров для экспертной обработки. Важно отметить, что определённые сложности могут возникать в обучении данных моделей в задачах, где невозможно составление «золотого стандарта» тестовой выборки, и результаты работы системы должны оцениваться экспертом.

Принципиально иной подход к активному обучению рассмотрен в [32]. Вместо того чтобы использовать каждый пример единожды, система может запросить повторную разметку экспертом, что может уменьшить влияние ошибок, допущенных экспертами при первичной разметке. Отмечено, что после определённого объёма размеченных данных прирост качества становится незначительным, а на малых объёмах данных, лидируют традиционные алгоритмы выбора примеров.

4 Предлагаемый подход

Поскольку разрабатываемый подход предназначен для структурирования текстовой информации в условиях ограниченности набора документов, то применяемые модели и алгоритмы должны опираться на общеязыковые принципы, независящие от специфики ПрО.

4.1 Предлагаемая модель

Приведённые в разделе 1 модели являются абстрактными форматами структурирования знания. Основным недостатком, связанным с их применением, является оторванность от источников содержащихся в них знаний. В рамках реальных прикладных задач любое знание, отражаемое в модели, происходит из конкретного документа. Эта информация выражается в документе с помощью простого, неструктурированного текста. Её можно представить в качестве множества взаимосвязанных элементарных фрагментов знания, а документ - в виде набора упоминаний этих фрагментов, отражающих содержащееся в них знание в виде текста.

Для учёта всей информации и минимизации потерь, связанных со структурированием знания, содержащегося в документе, предлагается использовать комбинированную модель, учитывающую как абстрактные знания, так и их упоминания в документе. Математически данную модель можно описать как

$$MKG = (M_C, M_R, C, R, F),$$

где M_C описывает множество упоминаний концептов, M_R - множество упоминаний отношений, C - множество концептов предметной области (ПрО), R - множество отношений между концептами, F - набор фактов, существующих внутри модели.

В предлагаемой модели каждый концепт ПрО содержит информацию о конкретных упоминаниях этого концепта, использованных в обработанной коллекции. То же верно и для отношений. Кроме того, предлагается использовать такой дополнительный структурный элемент, как «факт» - традиционный триплет, состоящий из двух концептов и отношения между ними.

4.2 Синтаксический анализатор

Для извлечения базовой структуры обрабатываемой фразы применена модель *UDPipe* [33], производящая синтаксический и грамматический анализ обрабатываемых документов, выделяя в них так называемые универсальные зависимости (*universal dependencies, UD*). Универсальные зависимости - это открытый проект, предназначенный для создания устойчивой кросс-языковой структуры синтаксических и семантических отношений [34]. Проект содержит более 100 размеченных текстовых коллекций на более чем 70 языках, все с общей синтактико-семантической разметкой.

UDPipe - это тренируемая модель для токенизации, разметки, лемматизации, и разбора синтаксических зависимостей. В основе *UDPipe* лежат *bi-LSTM*-сети, обучаемые производить полный разбор текстов на универсальные зависимости. Такой подход позволяет говорить о практической языковой независимости *UDPipe*: её применение возможно для любого из языков, поддерживаемых проектом. *UDPipe* является одним из победителей соревнования *CoNNL*-2018 [35], задачей которого было определить наиболее качественные анализаторы *UD*-разметки.

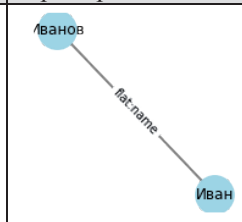
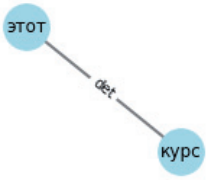
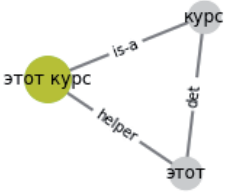
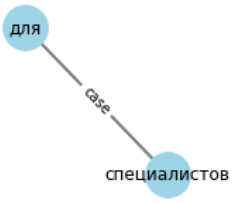
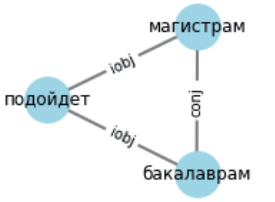
4.3 Переход от синтаксической к семантической схеме предложения

Результатом работы *UDPipe* является дерево, отражающее синтаксическую структуру фразы и содержащее базовую семантическую информацию о составляющих. Однако для структурирования текстовой информации требуются дополнительные действия по преобразованию этого дерева к полному семантическому графу.

С этой целью предлагается использовать набор правил преобразования дерева, независящих от специфики коллекции. Важно отметить, что в ходе применения этих правил, не теряется никакой информации об оригинальной структуре фразы: все оригинальные вершины

и их отношения сохраняются, а все изменения определяются только дополнительно вводимыми вершинами. Эти новые вершины представляют собой объединения уже существующих вершин в соответствии с их принадлежностью той или иной логической составляющей факта, описанного во фразе. Предлагаемые преобразования описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Основные преобразования дерева универсальных зависимостей для выделения фактов

Правило	Пример	Результат применения
Устоявшиеся словосочетания и целостные комбинации слов, выраженные универсальными отношениями «*flat*», «*fixed*», и «*compound*», объединяются в одну вершину, с которой они связываются элементарным семантическим отношением часть-целое (*part-of*).		
Определители, выраженные отношением «*det*», объединяются с вершиной, которой они подчинены, в общую вершину, связывающуюся с определителем отношением вспомогательного элемента (*helper*), а с оригинальной вершиной отношением подтипа (*is-a*).		
Предлоги, выраженные отношением «*case*», объединяются с вершиной, которой они подчинены, в общую вершину, связывающуюся с предлогом отношением вспомогательного элемента (*helper*), а с оригинальной вершиной отношением подтипа (*is-a*).		
Вспомогательные глаголы-связки (копулы), выраженные отношением «*cop*», объединяются с вершиной, которой они подчинены, в общую вершину, связывающуюся с предлогом отношением вспомогательного элемента (*helper*), а с оригинальной вершиной отношением подтипа (*is-a*).		
Если существуют несколько конъюнктивных элементов, что выражается отношением «*conj*», то все отношения, ведущие к ним от вышестоящих элементов иерархии, дублируются на все элементы, что позволяет восстановить связи с каждым из равноправных вариантов.		
Различные модификаторы, такие как прилагательные («*amod*»), наречия («*advmod*»), существительные («*nmod*»), числительные («*nummod*»), объединяются с вершиной, которой они подчинены в новую вершину. Эта объединённая вершина связана с модифицируемым словом отношением подтипа (*is-a*).		
Отношения, определяющие связи между глаголами и существительными предложения, наделены семантическими смыслами. Выделены: субъект (универсальное отношение «*nsubj*»), объект («*obj*» для прямого объекта, «*iobj*» для косвенного), и аргумент («*obl*» для обстоятельств действия).		

После применения этих преобразований к дереву универсальных зависимостей становится возможным выделить основные компоненты возможных фактов: триплеты «субъект-отношение-объект» и «субъект-отношение-аргумент», выраженные, пользуясь терминологией русской грамматики, подлежащим, сказуемым, и дополнением.

Пример построения семантического графа для фразы показан на рисунке 1. Здесь упоминания, состоящие из нескольких вершин, объединены в одну, при этом старые вершины сохранены с уточнением семантических связей с объединённой вершиной. В частности, «студенты магистратуры» - это подвид «студентов», а «магистратура» является в данном случае его модификатором.

Рисунок 1 – Пример графа, построенного для фразы «курс предназначен для студентов магистратуры»

4.4 Выделение шаблона факта

После преобразования графа универсальных отношений к графу семантических фактов для каждой конкретной фразы документа в наборе этих фактов необходимо выделить те, которые интересуют эксперта в конкретной прикладной задаче. Эти факты должны быть внесены в предложенную в подразделе 4.1 модель графа знаний с упоминаниями *MKG*. Согласно данной модели триплеты «субъект-отношение-объект» и «субъект-отношение-аргумент» могут быть отображены с помощью триплета элементов «концепт–отношение–концепт», или $a\rho b$, где $a, b \in C$, а $\rho \in R$. При этом все три элемента в триплетах имеют конкретное текстовое представление в виде упоминаний, составляющих ту или иную фразу, а также чётко определённые типы универсальных зависимостей и семантических связей.

Например, приведённый на рисунке 1 факт состоит из:

- концепта «курс», выраженного упоминанием «курс»;
- концепта «студенты магистратуры», выраженного упоминанием «для студентов магистратуры»;
- отношения «предназначен», выраженного упоминанием «предназначен»;
- связи между упоминаниями «курс» и «предназначен», имеющей синтаксический тип *nsubj* с семантическим отношением субъект (*subject*);
- связи между упоминаниями «для студентов магистратуры» и «предназначен», имеющей синтаксический тип *obl* с семантическим отношением аргумент (*argument*);

Вместе эти составляющие образуют факт «аудитория курса», описывающий людей, которым может быть интересно прохождение некоторого курса. Для внесения данного факта в модель эксперту достаточно задать эти составные части.

Очевидно, что множество различных фраз могут описывать аудитории тех или иных курсов, следуя, при этом, одному и тому же шаблону, представленному на рисунке 2а. Одни и те же концепты и отношения могут быть выражены разными упоминаниями, например, оба

графа на рисунке 2 следуют одному и тому же шаблону, используя различные формулировки. Таким образом, один и тот же факт должен включать в себя все известные упоминания, отражающие входящие в него концепты и отношение между ними, а также все известные варианты связей. Так, на рисунке 2а показано упоминание «аудитория» в качестве аргумента упоминания «предназначен»; на рисунке 2б представлен вариант, когда упоминание «аудитория» является объектом для упоминания «будет интересен», ввиду различной синтаксической структуры двух фраз.

а) шаблон графа факта «курс предназначен»

б) шаблон графа факта «курс будет интересен»

Рисунок 2 - Варианты шаблонов факта «Аудитория курса»

4.5 Применение семантической близости для поиска близких упоминаний

Для сопоставления различных фрагментов текста необходимо применение методов определения их семантической близости - вычислительных методов расчёта соответствующей количественной оценки. Одной из моделей определения смысловой близости является *word2vec* [36].

Word2vec основывается на неглубокой нейронной сети, обучающейся сопоставлять слова и их контексты таким образом, чтобы быть способной предсказать слово по контексту или наиболее вероятный контекст по слову. Побочным эффектом является формирование векторных представлений изученных слов, которые тем ближе друг к другу, чем более схожи контексты этих слов. Данный подход основывается на дистрибутивной гипотезе: языковые единицы, встречающиеся в похожих контекстах, похожи, что позволяет говорить о семантической близости слов, чьи векторные отображения взаимно близки, и о семантической независимости слов, чьи векторы далеки друг от друга.

Для измерения близости векторов традиционно применяется косинусная мера близости, измеряющая близость как косинус угла между многомерными направлениями векторов: совпадающие по направлению векторы имеют близость равную 1, а перпендикулярные, полностью независимые друг от друга 0.

4.6 Извлечение факта по шаблону

Удобство шаблонов фактов состоит в том, что их можно с лёгкостью применять для поиска схожих фактов в неструктурированном тексте. Для этого необходимо:

- проверить наличие в предложении упоминания первого концепта факта, используя известные его упоминания и оценивая их семантическую близость с упоминаниями в обрабатываемом предложении;
- проверить наличие в предложении упоминания отношения факта, используя известные его упоминания и оценивая их семантическую близость с упоминаниями в обрабатываемом предложении;
- проверить наличие между этими упоминаниями связи, соответствующей по типу известным шаблону связям между упоминаниями первого концепта и упоминаниями отношения;

- проверить наличие исходящей из упоминания отношения связи, соответствующей по типу известным шаблону связям между упоминаниями отношения и упоминаниями второго концепта;
- извлечь второй концепт этой связи как упоминание второй сущности.

После выполнения этих операций фразу можно считать обработанной. Если удалось выполнить все операции успешно, то исходная фраза содержит описание факта, соответствующего шаблону, по которому ведётся поиск.

4.7 Применение активного обучения для снижения затрат труда экспертов

Недостатком предлагаемого подхода является его сильная зависимость от наличия экспертной разметки извлекаемых фактов. Для снижения объёма требуемой разметки предлагается применять активное обучение.

Активное обучение основывается на итеративном процессе обработки данных. При этом на каждой итерации происходит обработка некоторой части корпуса с последующей консультацией у эксперта. Ввиду малого объёма данных в коллекции, имеет смысл применять поиск сразу ко всему набору фраз, что позволяет отслеживать эффективность алгоритма в зависимости от числа итераций и объёма размеченных «вручную» данных. Каждая итерация, таким образом, состоит из двух фаз: разметка и поиск фактов по шаблону.

В первой фазе эксперт осуществляет разметку очередного примера. Выбор примера для разметки производится случайным образом среди фраз, которые содержат описание аудитории курса, но прежде не были размечены и не поддавались автоматической обработке во время второй фазы на предыдущей итерации.

Во время второй фазы алгоритм производит поиск всех фактов, соответствующих обновлённому шаблону.

Результатом выполнения некоторого числа итераций является набор фраз, распознанных как описания аудитории курса, и соответствующих им графов фактов.

5 Проведение эксперимента

Рассматривается задача извлечения из текстового описания онлайн-курсов информации об их целевой аудитории. Исследуется возможность минимизации экспертных затрат с помощью применения активного обучения для автоматизированного формирования факта «аудитория курса».

В качестве коллекции документов был взят набор из 143 курсов платформы *Coursera*, на русском языке, содержащих информацию об их целевой аудитории. Суммарно, эта информация составляет 357 предложений. Малые размеры этого корпуса не позволяют обучать на нём сложные модели, и он хорошо подходит для проведения данного эксперимента.

Использованный корпус текстов не подвергался никакой предварительной обработке, перед тем как быть поданным на вход системе. Был произведён экспертный анализ всех входящих в него предложений, на основании которого было определено, что общее число фраз, содержащих информацию об аудитории курса, составило 137.

В рамках данной работы используется *UDPipe* модель для русского языка, предобученная на банке деревьев *SynTagRus*, разрабатываемом лабораторией компьютерной лингвистики Института проблем передачи информации РАН. Для отражения в векторное пространство применяется предварительно обученная на Национальном корпусе русского языка модель *word2vec CBOW*, публично предоставленная проектом *RusVectōrēs*. В качестве порога семантической близости было выбрано значение 0,7.

Первоначальный шаблон факта создаётся на основе единственного предложения, размеченного экспертом, после чего производится поиск фактов по данному шаблону. Разложение на требуемые составляющие первого экспертного примера - «Курс предназначен для старшеклассников, абитуриентов и студентов начальных курсов» - имеет вид:

- упоминание первого концепта: «Курс»;
- упоминание отношения: «предназначен»;
- упоминания второго концепта: «старшеклассников», «абитуриентов», «студентов начальных курсов».

На основании этой разметки система запоминает пять упоминаний, один тип связи между упоминанием отношения и упоминанием первого концепта, и один тип связи между упоминанием отношения и упоминанием второго концепта.

Результаты четырёх раундов поиска по шаблону отображены в таблице 2. По итогам четвёртого раунда система выявила 90 фактов из 137.

Таблица 2 – Результаты по 4 раундам поиска

Раунд	1	2	3	4
Найдено фактов	47	62	86	90

Пользуясь четырьмя размеченными примерами из 137, система смогла найти все эти примеры и ещё 86 из тех, которые ей раньше не встречались.

Для оценки качества работы системы был произведён экспертный анализ ответов системы на каждую фразу коллекции в четвёртом раунде, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка качества работы системы после четырёх раундов поиска

Метрика	Значение
Accuracy	0.866
Precision	1.000
Recall	0.652
*F*1	0.789

По результатам оценки можно сделать вывод, что в условиях нехватки обучающих данных предложенный подход способен адекватно справляться с задачей уменьшения нагрузки на эксперта, добившись 0.789 баллов *F*-меры (*F-score*). Кроме того, следует отметить, что система имеет «предвзятость» по отношению к точности (*precision*), нежели чем к возврату (*recall*) - она находит только корректные факты ценой их ограниченного количества. И хотя система не дает ложноположительных результатов, 47 ненайденных ей фактов приводят к снижению оценки правильности (*accuracy*), в виду своей ложной отрицательности.

Заключение

В статье показан подход к структурированию «сырых» текстовых документов, позволяющий эффективно снижать трудозатраты экспертов при сохранении достаточного качества работы. Рассмотренный алгоритм, опираясь на активное обучение, успешно интегрирует известные подходы на основе экспертных правил ПрО и на больших предметно-независимых объёмах данных, используемых в моделях машинного обучения.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №18-47-860013 р_а «Интеллектуальная система формирования обра-

зовательных программ на основе нейросетевых моделей естественного языка с учётом потребностей цифровой экономики Ханты-Мансийского автономного округа - Югры» (договор №18-47-860013\18).

Список источников

[1] ***He, W.*** Gaining competitive intelligence from social media data: Evidence from two largest retail chains in the world / W. He, J. Shen, X. Tian, Y. Li, V. Akula, G. Yan, R. Tao // Industrial Management & Data Systems. – 2015. – Vol. 115, No. 9. – P.1622-1636.

[2] ***Ahmad, U.*** Counter Terrorism on Online Social Networks Using Web Mining Techniques / U. Ahmad // Intelligent Technologies and Applications: First International Conference, INTAP 2018, Bahawalpur, Pakistan, October 23-25, 2018, Revised Selected Papers. – Springer, 2019. – Vol. 932. – P.240.

[3] ***Toulouse, T.*** Automatic fire pixel detection using image processing: a comparative analysis of rule-based and machine learning-based methods / T. Toulouse, L. Rossi, T. Celik, M. Akhloufi // Signal, Image and Video Processing. – 2016. – Vol. 10, No. 4. – P.647-654.

[4] ***Ginneken, B.*** Fifty years of computer analysis in chest imaging: rule-based, machine learning, deep learning / B. Ginneken // Radiological Physics and Technology. – 2017. – Vol. 1, No. 10. – P.23-32.

[5] ***Lukashevich, N.V.*** SentiRuEval-2016: overcoming time gap and data sparsity in tweet sentiment analysis / N.V. Lukashevich, Y.V. Rubtsova // Proceedings of International Conference Dialog-2016 – 2016. – P.416-426.

[6] ***Starostin, A.S.*** FactRuEval 2016: evaluation of named entity recognition and fact extraction systems for Russian / A.S. Starostin, V.V. Bocharov, S.V. Alexeeva, A.A. Bodrova, A.S. Chuchunkov, S.S. Dzhumaev, I.V. Efimenko, D.V. Granovsk, V.F. Khoroshevsky, I.V. Krylova, M.A. Nikolaeva, I.M. Smurov, S.Y. Toldova. // Proceedings of International Conference Dialog-2016 – 2016. – P.702-720.

[7] ***Abdi, A.*** QAPD: an ontology-based question answering system in the physics domain / A. Abdi, N. Idris, Z. Ahmad // Soft Computing. – 2018. – Vol. 22, No. 1. – P.213-230.

[8] ***Mohan, M.J.*** A study on ontology based abstractive summarization / M.J. Mohan, C. Sunitha, A. Ganesh, A. Jaya // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 87. – P.32-37.

[9] ***Kontopoulos, E.*** An ontology-based decision support tool for optimizing domestic solar hot water system selection / E. Kontopoulos, G. Martinopoulos, D. Lazarou, N. Bassiliades // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 112. – P.4636-4646.

[10] ***Vrbanec, T.*** The struggle with academic plagiarism: Approaches based on semantic similarity / T. Vrbanec, A. Meštrović // 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). – IEEE, 2017. – P.870-875.

[11] ***Strauss, B.*** Results of the wnut16 named entity recognition shared task / B. Strauss, B. Toma, A. Ritter, M.C. De Marneffe, W. Xu // Proceedings of the 2nd Workshop on Noisy User-generated Text (WNUT). – 2016. – P.138-144.

[12] ***Limsopatham, N.*** Bidirectional LSTM for named entity recognition in Twitter messages / N. Limsopatham, N.H. Collier // Proceedings of the 2nd Workshop on Noisy User-generated Text – 2016. – P.145-152.

[13] ***Sysoev, A.A.*** Named entity recognition in Russian: the power of wiki-based approach / A.A. Sysoev, I.A. Andrianov // Proceedings of International Conference “Dialogue”. – 2016. – P.746-755.

[14] ***Stepanova, M.E.*** Information Extraction Based on Deep Syntactic-Semantic Analysis / M.E. Stepanova, E.A. Budnikov, A.N. Chelombeeva, P.V. Matavina, D.A. Skorinkin.// Proceedings of International Conference “Dialogue”. – 2016. – P.721-733.

[15] ***Lample, G.*** Neural architectures for named entity recognition / G. Lample, M. Ballesteros, S. Subramanian, K. Kawakami, C. Dyer // arXiv preprint arXiv: 1603.01360. – 2016.

[16] ***Dernoncourt, F.*** NeuroNER: an easy-to-use program for named-entity recognition based on neural networks / F. Dernoncourt, J.Y. Lee, P. Szolovits // arXiv preprint arXiv: 1705.05487. – 2017.

[17] ***Corbett, P.*** Chemlistem: chemical named entity recognition using recurrent neural networks / P. Corbett, J. Boyle // Journal of Cheminformatics. – 2018. – Vol. 10, No. 1. – P.59.

[18] ***Zeng, X.*** Large scaled relation extraction with reinforcement learning / X. Zeng, S. He, K. Liu, J. Zhao // Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2018.

[19] ***Bai, F.*** Structured Minimally Supervised Learning for Neural Relation Extraction / F. Bai, A. Ritter // arXiv preprint arXiv: 1904.00118. – 2019.

[20] ***Peng, N.*** Cross-sentence n-ary relation extraction with graph lstms / N. Peng, H. Poon, C. Quirk, K. Toutanova, W.-t. Yih // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Vol. 5. – P.101-115.

[21] ***Ji, G.*** Distant supervision for relation extraction with sentence-level attention and entity descriptions / G. Ji, L. Kang, H. Shizhu, Z.Jun // Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2017.

[22] ***Lin, Y.*** Neural relation extraction with selective attention over instances / Y. Lin, S. Shen, Z. Liu, H. Luan, M. Sun // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Vol. 1: Long Papers). – 2016. – P.2124-2133.
[23] ***Dasgupta, S.*** Formal ontology learning from English is-a sentences / S. Dasgupta, A. Padia, G. Maheshwari, P. Trivedi, J. Lehmann // arXiv preprint arXiv: 1802.03701. – 2018.
[24] ***Petrucci, G.*** Ontology learning in the deep / G. Petrucci, C. Ghidini, M. Rospocher //European Knowledge Acquisition Workshop. – Springer, Cham, 2016. – P.480-495.
[25] ***Rani, M.*** Semi-automatic terminology ontology learning based on topic modeling / M. Rani, A.K. Dhar, O.P. Vyas // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2017. – Vol. 63. – P. 108-125.
[26] ***Petrucci, G.*** Expressive ontology learning as neural machine translation / G. Petrucci, M. Rospocher, C. Ghidini // Journal of Web Semantics. – 2018. – Vol. 52. – P.66-82.
[27] ***Chen, Y.*** An active learning-enabled annotation system for clinical named entity recognition / Y. Chen, T.A. Lask, Q. Mei, Q. Chen, S. Moon, J. Wang, K. Nguyen // BMC medical informatics and decision making. – 2017. – Vol. 17, No. 2. – P.82.
[28] ***Shen, Y.*** Deep active learning for named entity recognition / Y. Shen, H. Yun, Z.C. Lipton, Y. Kronrod, A. Anandkumar // arXiv preprint arXiv: 1707.05928. – 2017.
[29] ***Kim, S.*** Mmr-based active machine learning for bio named entity recognition. / S. Kim, Y. Song, K. Kim, J.-W. Cha, G.G. Lee // In Proceedings of the Human Language Technology Conference of the NAACL, Companion Volume: Short Papers, P.69–72.
[30] ***Kholghi, M.*** Active learning: a step towards automating medical concept extraction / M. Kholghi, L. Sitbon, G. Zuccon, A. Nguyen//Journal of the American Medical Informatics Association. – 2015. – Vol. 23, No. 2. – P.289-296.
[31] ***Fang, M.*** Learning how to active learn: A deep reinforcement learning approach / M. Fang, Y. Li, T. Cohn // arXiv preprint arXiv: 1708.02383. – 2017.
[32] ***Lin, C.H.*** Re-active learning: Active learning with relabeling / C.H. Lin, M. Mausam, D.S. Weld // Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2016.
[33] ***Straka, M.*** UDPipe: trainable pipeline for processing CoNLL-U files performing tokenization, morphological analysis, pos tagging and parsing / M. Straka, J. Hajic, J. Straková // Proceedings of the tenth international conference on language resources and evaluation (LREC 2016). – 2016. – P.4290-4297.
[34] Universal Dependencies. - https://universaldependencies.org/.
[35] ***Zeman, D.*** CoNLL 2018 shared task: multilingual parsing from raw text to universal dependencies / D. Zeman, J. Hajic, M. Popel, M. Potthast, M. Straka, F. Ginter, J. Nivre, S. Petrov // Proceedings of the CoNLL 2018 Shared Task: Multilingual Parsing from Raw Text to Universal Dependencies. – 2018. – P.1-21.
[36] ***Mikolov, T.*** Efficient estimation of word representations in vector space / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // arXiv preprint arXiv: 1301.3781. – 2013.

ACTIVE LEARNING APPROACH TO KNOWLEDGE EXTRACTION FROM DESCRIPTIONS OF EDUCATIONAL COURSES UNDER CONDITIONS OF SMALL DATA

J.D. Klenin

Information Technologies Institute, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia
Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, Russia
jklen@yandex.ru

Abstract

With the constant growth of volumes of available data, their manual processing stops being possible, giving way to various machine learning models. Modern algorithms do a good job of basic tasks, provided that there is a sufficient amount of training data. However, many modern tasks are much more complicated and are highly specialized, which limits the amount of training data available for training, hindering the performance of fully automatic systems. In this paper, an approach to the task of automated fact extraction from the collections of raw text documents adapted for the lack of training data is presented. The integration of rule-based approaches for specific knowledge domains with generalized, domain-independent machine learning models pre-trained on large volumes of data is discussed. The proposed

approach based on the active learning methodology, seeks to reduce the expert's labor costs required for the efficient generation of extractable fact templates without compromising the system's performance. The paper also demonstrates the application of the proposed method of fact extraction based on the task of the target audience information search from the unstructured raw descriptions of online courses.

Key words: *knowledge graph, ontology, knowledge extraction, active learning, rule-based, machine learning, small data*

Citation: *Klenin J.D.* Active learning approach to knowledge extraction from descriptions of educational courses under conditions of small data [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 522-535. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-522-535.

Acknowledgments

The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the project No. 18-47-860013 p_a "Intelligent system for the formation of educational programs based on neural network models of the natural language, taking into account the needs of the digital economy of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Ugra" (contract No. 18-47- 860013 \ 18).

References

[1] ***He W, He W, Shen J, Tian X, Li Y, Akula V, Yan G, Tao R.*** Gaining competitive intelligence from social media data: Evidence from two largest retail chains in the world. Industrial Management & Data Systems. 2015; 115(9): 1622-1636.

[2] ***Ahmad U.*** Counter Terrorism on Online Social Networks Using Web Mining Techniques. Intelligent Technologies and Applications: First International Conference, INTAP 2018, Bahawalpur, Pakistan, October 23-25, 2018, Revised Selected Papers. – Springer, 2019; 932: 240.

[3] ***Toulouse T, Rossi L, Celik T, Akhloufi M.*** Automatic fire pixel detection using image processing: a comparative analysis of rule-based and machine learning-based methods. Signal, Image and Video Processing. 2016; 10(4): 647-654.

[4] ***Ginneken B.*** Fifty years of computer analysis in chest imaging: rule-based, machine learning, deep learning. Radiological Physics and Technology. 2017; 1(10): 23-32.

[5] ***Lukashevich, N.V.*** SentiRuEval-2016: overcoming time gap and data sparsity in tweet sentiment analysis / N.V. Lukashevich, Y.V. Rubtsova // Proceedings of International Conference Dialog-2016. 2016; 416-426.

[6] ***Starostin, A.S.*** FactRuEval 2016: evaluation of named entity recognition and fact extraction systems for Russian / A.S. Starostin, V.V. Bocharov, S.V. Alexeeva, A.A. Bodrova, A.S. Chuchunkov, S.S. Dzhumaev, I.V. Efimenko, D.V. Granovsk, V.F. Khoroshevsky, I.V. Krylova, M.A. Nikolaeva, I.M. Smurov, S.Y. Toldova. // Proceedings of International Conference Dialog-2016. 2016; 702-720.

[7] ***Abdi A, Idris N, Ahmad Z.*** QAPD: an ontology-based question answering system in the physics domain. Soft Computing. 2018; 22(1): 213-230.

[8] ***Mohan MJ, Sunitha C, Ganesh A, Jaya A.*** A study on ontology based abstractive summarization. Procedia Computer Science. 2016; 87: 32-37.

[9] ***Kontopoulos E, Martinopoulos G, Lazarou D, Bassiliades N.*** An ontology-based decision support tool for optimizing domestic solar hot water system selection. Journal of Cleaner Production. 2016; 112: 4636-4646.

[10] ***Vrbanec T, Meštrović A.*** The struggle with academic plagiarism: Approaches based on semantic similarity. 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). IEEE. 2017; 870-875.

[11] ***Strauss B, Toma B, Ritter A, De Marneffe MC, Xu W.*** Results of the wnut16 named entity recognition shared task. Proceedings of the 2nd Workshop on Noisy User-generated Text (WNUT). 2016; 138-144.

[12] ***Limsopatham N, Collier NH.*** Bidirectional LSTM for named entity recognition in Twitter messages. Proceedings of the 2nd Workshop on Noisy User-generated Text. 2016; 145-152.

[13] ***Sysoev AA, Andrianov IA.*** Named entity recognition in Russian: the power of wiki-based approach. Proceedings of International Conference "Dialogue". 2016; 746-755.

[14] ***Stepanova ME, Budnikov EA, Chelombeeva AN, Matavina PV, Skorinkin DA.*** Information Extraction Based on Deep Syntactic-Semantic Analysis. Proceedings of International Conference "Dialogue". 2016; 721-733.

[15] ***Lample G, Ballesteros M, Subramanian S, Kawakami K, Dyer C.*** Neural architectures for named entity recognition. arXiv preprint arXiv: 1603.01360. – 2016.

[16] ***Dernoncourt F, Lee JY, Szolovits P.*** NeuroNER: an easy-to-use program for named-entity recognition based on neural networks. arXiv preprint arXiv: 1705.05487. – 2017.
[17] ***Corbett P, Boyle J.*** Chemlistem: chemical named entity recognition using recurrent neural networks. Journal of Cheminformatics. 2018; 10(1): 59.
[18] ***Zeng X, He S, Liu K, Zhao J.*** Large scaled relation extraction with reinforcement learning. Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2018.
[19] ***Bai F, Ritter A.*** //Structured Minimally Supervised Learning for Neural Relation Extraction. arXiv preprint arXiv: 1904.00118. – 2019.
[20] ***Peng N, Poon H, Quirk C., Toutanova K, Yih W-t.*** Cross-sentence n-ary relation extraction with graph lstms. Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2017; 5: 101-115.
[21] ***Ji G, Kang L, Shizh H, Jun Z.*** Distant supervision for relation extraction with sentence-level attention and entity descriptions. Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2017.
[22] ***Lin Y, Shen S, Liu Z, Luan H, Sun M.*** Neural relation extraction with selective attention over instances. Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Long Papers. 2016; 2124-2133.
[23] ***Dasgupta S, Padia A, Maheshwari G, Trivedi P, Lehmann J.*** Formal ontology learning from English is-a sentences. arXiv preprint arXiv: 1802.03701. – 2018.
[24] ***Petrucci G, Ghidini C, Rospocher M.*** Ontology learning in the deep. European Knowledge Acquisition Workshop. Springer, Cham, 2016; 480-495.
[25] ***Rani M, Dhar AK, Vyas OP.*** Semi-automatic terminology ontology learning based on topic modeling. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2017; 63: 108-125.
[26] ***Petrucci G, Rospocher M, Ghidini C.*** Expressive ontology learning as neural machine translation. Journal of Web Semantics. 2018; 52: 66-82.
[27] ***Chen Y, Lask TA, Mei Q, Chen Q, Moon S, Wang J, Nguyen K.*** An active learning-enabled annotation system for clinical named entity recognition. BMC medical informatics and decision making. 2017; 17(2): 82.
[28] ***Shen Y, Yun H, Lipton ZC, Kronrod Y, Anandkumar A.*** Deep active learning for named entity recognition. arXiv preprint arXiv: 1707.05928. – 2017.
[29] ***Kim S, Song Y, Kim K, Cha J-W, Lee GG.*** Mmr-based active machine learning for bio named entity recognition. In Proceedings of the Human Language Technology Conference of the NAACL, Companion Volume: Short Papers. 69–72.
[30] ***Kholghi M, Sitbon L, Zuccon G, Nguyen A.*** Active learning: a step towards automating medical concept extraction. Journal of the American Medical Informatics Association. 2015; 23(2): 289-296.
[31] ***Fang M, Li Y, Cohn T.*** Learning how to active learn: A deep reinforcement learning approach. arXiv preprint arXiv: 1708.02383. – 2017.
[32] ***Lin C.H, Mausam M, Weld DS.*** Re-active learning: Active learning with relabeling. Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2016.
[33] ***Straka M, Hajic J, Straková J.*** UDPipe: trainable pipeline for processing CoNLL-U files performing tokenization, morphological analysis, pos tagging and parsing. Proceedings of the tenth international conference on language resources and evaluation (LREC 2016). 2016; 4290-4297.
[34] Universal Dependencies. - https://universaldependencies.org/.
[35] ***Zeman D, Hajic J, Popel M, Potthast M, Straka M, Ginter F, Nivre J, Petrov S.*** CoNLL 2018 shared task: multilingual parsing from raw text to universal dependencies. Proceedings of the CoNLL 2018 Shared Task: Multilingual Parsing from Raw Text to Universal Dependencies. 2018; 1-21.
[36] ***Mikolov T, Chen K, Corrado G, Dean J.*** Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv: 1301.3781. – 2013.

Сведения об авторе

Кленин Юлий Дмитриевич, 1994 г. рождения. Окончил магистратуру Челябинского государственного университета по направлению «Фундаментальная информатика». Является аспирантом по специальности «Системный анализ и управление» (Институт информационных технологий Челябинского государственного университета). Автор более 15 статей по тематике интеллектуального анализа текстовой информации.
Klenin Julius Dmitrievich (b. 1994) master of "Fundamental Computer Science" (Chelyabinsk State University). Postgraduate student in "System analysis and control" (Information Technologies Institute at Chelyabinsk State University). He is an author of about 15 papers on intelligent analysis of text data.

УДК 629.7

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОЗИТНЫХ КОРПУСОВ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

О.Г. Жидкова

Специальное конструкторско-технологическое бюро «Пластик», Сызрань, Россия
ol_zhidkova@yahoo.com

Аннотация

Рассматривается задача проектирования прецизионных крупноразмерных корпусных конструкций. Отмечена перспективность применения композиционных материалов в крупногабаритных несущих конструкциях космических телескопов. Проектная задача создания несущей конструкции корпуса телескопа оптико-электронного комплекса сформулирована в стандартной форме в терминах нелинейного математического программирования. Осуществлена декомпозиция задачи на ряд структурных и параметрических подзадач. Отмечены трудности формализации задачи выбора структурных решений и на примере корпусной композитной конструкции космического телескопа показаны пути её решения. Подробно рассмотрены выбор концепции силовой схемы корпуса телескопа и директивной технологии его изготовления. Для выбора рационального варианта конструкции и технологических приёмов изготовления корпуса с учётом разнородных требований к изделию применён метод парных сравнений. Приведены оригинальные технические решения, подтверждённые патентами: корпус телескопа в виде оболочки с наружным набором подкрепляющих рёбер и технология её формования с использованием эластичных формующих элементов. Показаны примеры корпусных конструкций из композиционных материалов, спроектированных и изготовленных с использованием представленных методов. Эффективность применённых методов при проектировании композитных конструкций в условиях действия комплекса разнородных требований к изделию подтверждена параметрами изготовленных изделий.

Ключевые слова: *космические телескопы, терморазмеростабильность, композиты, метод парных сравнений, углепластики, проектирование, технология*.

Цитирование: *Жидкова, О.Г.* Применение метода парных сравнений при проектировании композитных корпусов космических телескопов /О.Г. Жидкова // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №4(34). – С.536-548. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-536-548.

Введение

На сегодняшний день освоение и использование космического пространства является одним из фундаментальных направлений развития науки и техники. Среди проблем, решаемых при освоении космического пространства, – космическая и наземная связь, энергетика, радиоастрономия, исследования космических и наземных объектов. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) позволяет решать многоцелевые задачи и является приоритетным направлением космической деятельности Российской Федерации [1]. Повышение качества дистанционного зондирования Земли и освоения космического пространства определяется новыми техническими решениями в области создания оптико-электронных систем и комплексов.

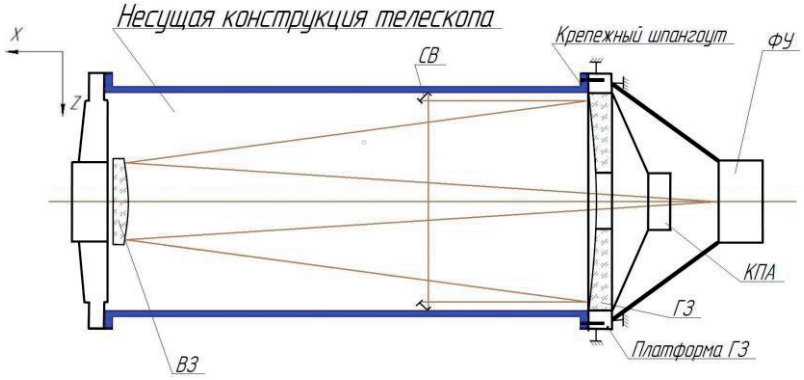
Проектирование космических аппаратов (КА) в настоящее время развивается в нескольких направлениях, в частности разрабатываются как малые КА и их группировки, так и космические оптико-электронные комплексы для размещения крупногабаритной аппаратуры.

Малые КА позволяют оперативно решать отдельные задачи в области ДЗЗ и космических исследований, отрабатывать новые технологии, а также активно используются в образовательном сегменте. Для исследований объектов в космосе и на Земле в ряде стран (Россия, США, Канада, Япония, страны Европейского космического агентства) разрабатываются крупноразмерные космические телескопы, позволяющие решать задачи ДЗЗ с высокой разрешающей способностью средств наблюдения [2-4]. При этом рост абсолютных размеров телескопов требует новых технических решений [5].

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) имеют большие перспективы при применении в крупногабаритных несущих конструкциях по ряду преимуществ перед металлами (низкий коэффициент линейного термического расширения - КЛТР, высокие удельные жёсткость и прочность). Наиболее перспективным композиционным материалом для крупноразмерных конструкций, в том числе космического назначения, представляется слоистый углепластик квазиизотропной структуры армирования с КЛТР порядка $1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, что позволяет создать изделия со свойством терморазмеростабильности [6]. Единичное производство крупноразмерных корпусов космических телескопов требует разработки новых методик проектирования и технологий изготовления.

В статье отражён опыт решения подобных задач на этапах выбора концептуальных решений по конструкции корпуса и технологии его изготовления с использованием методов системного анализа. В качестве объекта проектирования рассматривается космический телескоп, оптическая система которого построена по схеме Ричи-Кретьена [7] (рисунок 1). Данная оптическая схема технологична и хорошо отработана в конструкциях космических телескопов, применяется в системах ДЗЗ высокого разрешения. Цилиндрический корпус телескопа предназначен для установки и фиксации на строго заданных расстояниях главного и вторичного зеркал оптической системы.

Для примера выбран телескоп с длиной цилиндрической несущей части 3000 мм и диаметром объектива 1350 мм, что соответствует некоторым опубликованным проектам [2].



ГЗ – главное зеркало, ВЗ – вторичное зеркало,
ФУ – фокальный узел, КПА – корректор полевых аберраций,
СВ – световозвращатель

Рисунок 1 – Оптическая схема телескопа
и схема его закрепления в конструкции КА

1 Постановка задачи проектирования корпусной композитной конструкции

Задача проектирования конструкции ставится на основе требований, предъявляемых к ней, и начинается с анализа геометрических ограничений на внешнюю форму и внутреннее пространство корпуса телескопа. Эти ограничения регламентируются заказчиком в техническом задании, которое также нормирует и основные технические характеристики проектируемой конструкции.

Одной из наиболее трудных задач, рассматриваемых на начальной стадии разработки несущей конструкции, является разрешение противоречия между требованиями, диктуемыми оптической схемой оптико-электронного комплекса (ОЭК) в виде заданных габаритных размеров, и обеспечением жёсткости и прочности конструкции при минимальной массе.

Корпусная конструкция должна обеспечивать сохранность пространственных линейных и угловых положений элементов оптической системы ОЭК, достигнутых в результате наземной юстировки, для обеспечения необходимого качества изображения. В условиях штатной эксплуатации максимальные значения допустимых отклонений пространственных линейных и угловых параметров посадочных площадок под элементы оптической системы не должны превышать 30 мкм и 20″ соответственно. В оптической схеме телескопа вторичное зеркало (ВЗ) находится на расстоянии около трёх метров от главного зеркала (ГЗ), что приводит к необходимости обеспечения заданного положения ВЗ в процессе работы телескопа в ориентированном полёте в диапазоне перепада температур ΔT=±5 K. Конструкция корпуса должна обеспечивать первую собственную частоту колебаний вместе с оптическими узлами не ниже 40 Гц. На цилиндрической части несущей конструкции в зоне стыковки с платформой ГЗ должны быть предусмотрены люки диаметром не менее 300 мм для обеспечения доступа к рабочей поверхности ГЗ на любом этапе наземной эксплуатации до момента установки ОЭК на изделие. Конструкция должна также обладать достаточной прочностью на различных этапах жизненного цикла.

Проектная задача создания размеростабильной несущей конструкции ОЭК формулируется следующим образом: *необходимо спроектировать конструкцию минимальной массы, которая обеспечивает требования по жёсткости в форме ограничений на взаимные линейные смещения и развороты ГЗ и ВЗ и минимальную низшую собственную частоту колебаний, и удовлетворяет требованиям по прочности на всех этапах жизненного цикла.*

В стандартной форме в терминах нелинейного математического программирования [8] данная задача может быть записана следующим образом.

Необходимо найти вектор X^*, при котором

$$f(X^*) \le f(X) \forall X \in \Omega,$$

где $\Omega = \{X: g_j(X) \le 0, j = 1,2,\dots,m\}$– множество (область) допустимых проектов;

X – вектор проектных переменных;

$f(X)$ – целевая функция;

$g_j(X)$ – ограничения;

j– номер ограничения.

Целевая функция данной проектной задачи – минимум массы. Ограничения накладываются на жёсткость, прочность и низшую собственную частоту. В качестве проектных переменных выступают структурные характеристики конструкции и её материала (параметры каркаса корпуса и параметры внутренней структуры композита).

Требуется выбрать параметры конструкции, определяющие форму и размещение отдельных силовых элементов, а также геометрические характеристики элементов (толщины оболочки, рёбер и пр.). Кроме этого, при проектировании конструкций из слоистых ПКМ необходимо учитывать ряд требований из механики композитов и подходов, выработанных практикой [9]:

- структура тонкостенного композита должна быть симметричной относительно срединной поверхности;
- при выкладке пакета КМ слои должны чередоваться в соответствии со схемой армирования;
- толщины элементов конструкции могут изменяться только дискретно с учётом толщины монослоя и схемы укладки композита.

Одновременно с выбором конструктивной схемы решается задача выбора технологических приёмов, позволяющих изготовить конструкцию с требуемым набором элементов и функциональных деталей для крепления приборов. С учётом опыта разработчиков и производителей композитных конструкций подобного назначения проведена декомпозиция про-

ектной задачи на подзадачи, позволяющая осуществить поиск рациональных решений на каждом из следующих этапов:

I. выбор конструкционного материала;
II. выбор концепции конструкции;
III. назначение рациональных размеров элементов, направленное на снижение массы;
IV. выбор базовой технологии изготовления проектируемой конструкции;
V. проектирование технологического процесса.

Каждый из этапов проектирования композитной конструкции корпуса телескопа имеет свои особенности. На I этапе задача выбора материала осложняется требованием сохранения размеров корпуса в условиях космического пространства и, как следствие, минимизации КЛТР. Ограниченный спектр композиционных материалов и возможность определения их достоверных характеристик после изготовления конструкции делает необходимым использование теоретико-экспериментального подхода к выбору конструкционного материала. На III этапе процесс выбора и назначения рационального распределения материала и геометрических размеров элементов конструкции в современных условиях проектирования осуществляется на базе математического моделирования. На V этапе при проектировании эффективного технологического комплекса в силу его сложности и многофакторности в процедуре подбора параметров технологического процесса решающую роль играет эксперимент.

Структурные решения на этапах II и IV являются прерогативой творческой (часто интуитивной) деятельности проектантов–конструкторов и аналитиков [10], при этом особую важность имеет результат выбора варианта структуры, так как неудачный выбор может потребовать пересмотра всего проекта в целом. Каждое из принимаемых структурных решений имеет свои достоинства и недостатки. Как правило, их трудно выразить количественно, но можно оценить экспертными методами на качественном уровне. Для решения трудноформализуемых проектных задач выбора принципиальной конструктивной схемы и технологических приёмов изготовления конструкции (этапы II и IV проектной задачи) могут быть применены методы системного анализа, в частности метод парных сравнений.

2 Применение метода парных сравнений

Проблема выбора является одной из задач системного анализа. Для решения задач выбора разработан ряд методов экспертных оценок, в том числе методы ранжирования, парных сравнений, множественных сравнений, а также методы непосредственной численной оценки, метод Терстоуна, Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна и другие [11].

Широко используется метод парных сравнений, применяемый для оценки слабо детерминированных систем на качественном уровне. Существует несколько вариантов этого метода. Классическим вариантом метода является разработанный в 1970 году Томасом Саати метод анализа иерархий, основанный на сравнении альтернативных вариантов, выполняемом экспертом [12]. Для каждой пары вариантов эксперт выбирает степень предпочтительности и заполняет матрицу парных сравнений по выбранным правилам.

В рассматриваемой задаче принятия структурных решений имеет место ситуация, когда в отношении двух вариантов, например i и j, можно сказать, что по определённому критерию i более предпочтителен, чем j ($i \succ j$) или наоборот ($i \prec j$), а также ситуация, когда варианты по выбранному критерию равноценны ($i \approx j$). Принято присваивать этим оценкам следующие числовые значения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 2, \text{если } i \succ j; \\ 1, \text{если } i \approx j; \\ 0, \text{если } i \prec j. \end{cases}$$

Далее составляется таблица (матрица измерений) парных сравнений. На диагонали матрицы результатов парных сравнений всегда расположены единицы (вариант эквивалентен самому себе):

$$x_{ii} = 1.$$

Рейтинг каждого варианта рассчитывается как сумма строк матрицы сравнений:

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}.$$

В общем случае возможно проведение парного анализа в отношении критериев сравнения с последующей нормировкой матрицы парных сравнений и вычислением весовых коэффициентов критериев (вектора весов критериев) с формированием решения о степени важности того или иного критерия [13, 14].

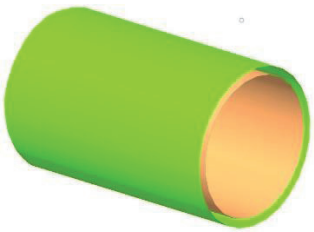
Ранг вариантов исполнения определяется по сумме элементов (суммарный рейтинг по критериям) соответствующей строки: наиболее предпочтительному варианту с наибольшим суммарным рейтингом присваивается ранг, равный единице, второму по предпочтительности – ранг, равный двум и так далее.

3 Выбор концепции конструкции

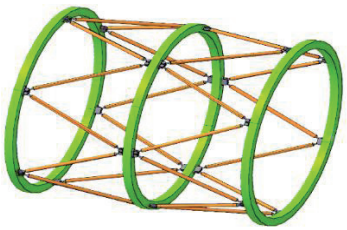
На начальных этапах проектирования конструкций из полимерных композитов важнейшим этапом является выбор концептуального решения по силовой схеме [15]. Проектная практика предлагает целый ряд технических решений: простая оболочка; оболочка, подкреплённая каркасом (шпангоуты и стрингеры внутри по типу авиационных конструкций); трёхслойная оболочка; стержневая (ферменная) конструкция; конструкция, состоящая из оболочки с каркасом, расположенным снаружи (рисунок 2).

а - оболочка без ребер жесткости

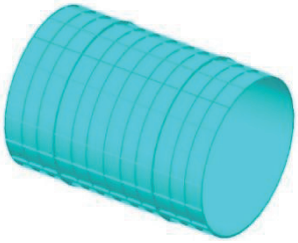
б - подкрепленная оболочка (ребра внутри)



в - трёхслойная конструкция



г - ферменная конструкция



д - подкрепленная оболочка (ребра снаружи)

Рисунок 2– Варианты конструктивного исполнения корпусной конструкции

Для выбора типа силовой схемы корпусной конструкции космического телескопа применён метод парных сравнений (см. раздел 2). В качестве критериев для сравнения рассмотрены:

- критерий А – обеспечение возможности размещения элементов оптической системы телескопа внутри конструкции;
- критерий В – обеспечение возможности крепления навешиваемого оборудования на корпусной конструкции телескопа, а также крепления самой конструкции к ответной части;
- критерий С – обеспечение возможности доступа к оборудованию внутри корпусной конструкции с целью его настройки и обслуживания.

Результаты парного анализа возможных вариантов исполнения корпусной конструкции по критериям А, В и С сведены в матрицы парных сравнений (таблицы 1-3) и рассчитан рейтинг каждого варианта конструктивного исполнения.

Таблица 1 – Результаты парного анализа вариантов исполнения корпусной конструкции по критерию А

Вариант исполнения	Трёхслойная конструкция	Подкреплённая оболочка (ребра внутри)	Подкреплённая оболочка (ребра снаружи)	Оболочка без рёбер жёсткости	Ферменная конструкция	Рейтинг
Трёхслойная конструкция	1	2	1	1	1	6
Подкрепленная оболочка (рёбра внутри)	0	1	0	0	1	2
Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	1	2	1	1	2	7
Оболочка без рёбер жёсткости	1	2	1	1	1	6
Ферменная конструкция	1	1	0	1	1	4

Таблица 2 – Результаты парного анализа вариантов исполнения корпусной конструкции по критерию В

Вариант исполнения	Трёхслойная конструкция	Подкреплённая оболочка (рёбра внутри)	Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	Оболочка без рёбер жёсткости	Ферменная конструкция	Рейтинг
Трёхслойная конструкция	1	1	1	2	1	6
Подкреплённая оболочка (рёбра внутри)	1	1	1	2	2	7
Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	1	1	1	2	2	7
Оболочка без рёбер жёсткости	0	0	0	1	1	2
Ферменная конструкция	1	0	0	1	1	3

Наиболее предпочтительным вариантом конструкции корпуса является вариант с более высоким рейтингом. При проведении парного анализа возможно нахождение среднего арифметического строк матрицы парных сравнений и вычисление весовых коэффициентов альтернативных вариантов, характеризующих предпочтительность каждого варианта.

Наивысший ранг имеет вариант исполнения корпуса в виде подкреплённой оболочки с рёбрами наружу. На выбор данного варианта в парном анализе оказала влияние относительная технологическая простота изготовления и возможность реализации квазиизотропной схемы армирования композита. Элементы этого решения вошли в состав патента [16].

Таблица 3 – Результаты парного анализа вариантов исполнения корпусной конструкции по критерию С

Вариант исполнения	Трёхслойная конструкция	Подкреплённая оболочка (рёбра внутри)	Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	Оболочка без рёбер жёсткости	Ферменная конструкция	Рейтинг
Трёхслойная конструкция	1	1	1	1	0	4
Подкреплённая оболочка (рёбра внутри)	1	1	1	2	1	6
Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	1	1	1	2	1	6
Оболочка без ребер жёсткости	1	0	0	1	0	2
Ферменная конструкция	2	1	1	2	1	7

Результаты ранжирования вариантов конструктивного исполнения по критериям А, В, С сведены в итоговую таблицу 4.

Таблица 4 – Ранжирование вариантов конструктивного исполнения корпусной несущей конструкции

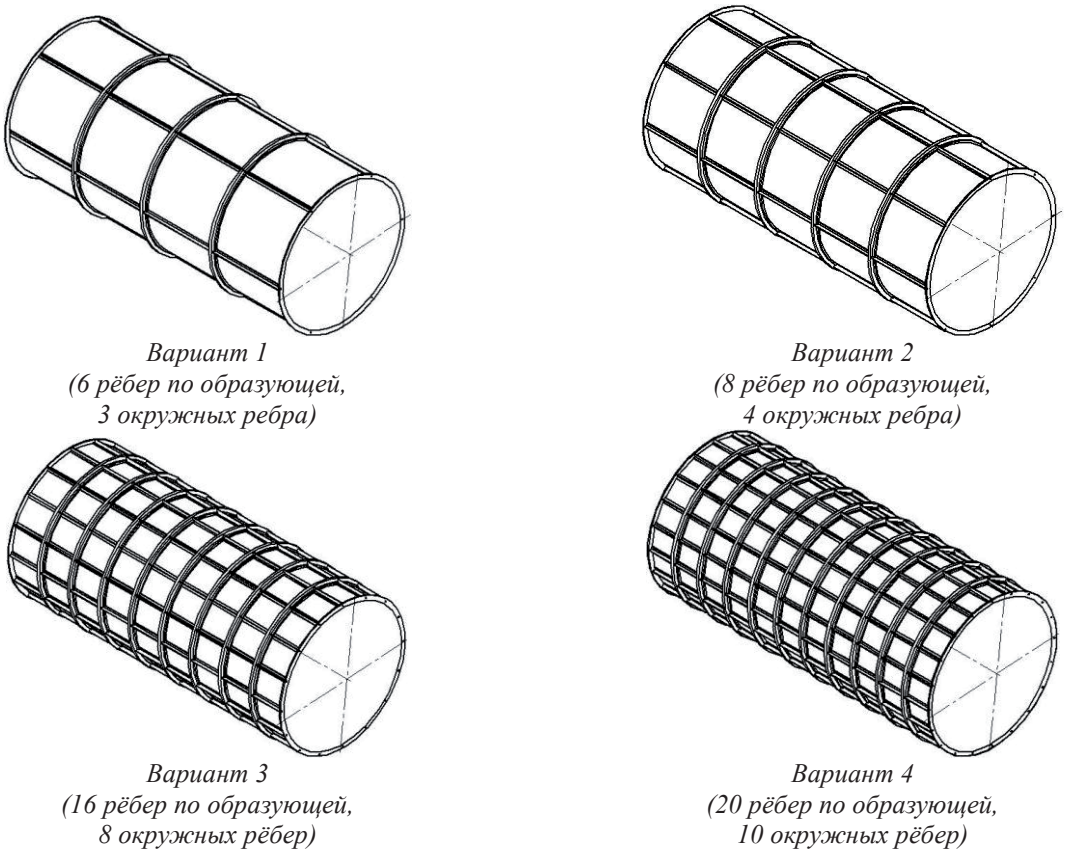
Вариант исполнения	Рейтинг по критериям			Суммарный рейтинг	Ранг
	А	В	С		
Трёхслойная конструкция	6	6	4	16	2
Подкреплённая оболочка (рёбра внутри)	2	7	6	15	3
Подкреплённая оболочка (рёбра снаружи)	7	7	6	20	1
Оболочка без рёбер жёсткости	6	2	2	10	5
Ферменная конструкция	4	3	7	14	4

Выбор наружного оребрения крупногабаритной корпусной конструкции является обоснованным и в связи с тем, что конструкция корпуса, находясь на различных этапах эксплуатации в сложном напряженно-деформированном состоянии, нагружена значительными осевыми сжимающими усилиями. При таком нагружении потеря устойчивости подкрепленной оболочки сопровождается образованием выпучин квадратной формы и внешнее расположение рёбер является более эффективным с точки зрения верхних значений критической нагрузки [17]: критическая осевая нагрузка для эксцентрично подкрепленных оболочек с наружным расположением продольных рёбер (стрингеров) может в два раза превышать таковую при внутреннем оребрении [18].

Выбранная концепции конструкции с наружным каркасом фактически порождает дискретное пространство структурных проектных переменных – число рёбер в окружном направлении и число рёбер по образующей (шпангоутов и стрингеров соответственно). Некоторые возможные варианты каркаса показаны на рисунке 3.

На основе анализа силовой работы «клетки» тонкой оболочки, ограниченной шпангоутами и стрингерами, для дальнейшей проработки выбран вариант 3 на рисунке 3.

Результаты выбора силовой схемы конструкции на этапе II передаются на этап III, в котором для назначения размеров элементов в качестве проектных переменных могут использоваться толщины оболочки и рёбер. Эта задача параметрической оптимизации осложняется дискретностью толщин элементов конструкции вследствие применения квазиизотропной схемы армирования полимерного композиционного материала.



Вариант 1
(6 рёбер по образующей,
3 окружных ребра)

Вариант 2
(8 рёбер по образующей,
4 окружных ребра)

Вариант 3
(16 рёбер по образующей,
8 окружных рёбер)

Вариант 4
(20 рёбер по образующей,
10 окружных рёбер)

Рисунок 3– Варианты силовой схемы корпусной конструкции

Дальнейшая разработка конструкции проводится с использованием парадигмы *точного проектирования* [19, 20], суть которой состоит в использовании моделей высокого уровня на ранних стадиях проектирования. В таком подходе формируется проектная среда, позволяющая исключить грубые ошибки и трудоёмкие доработки.

4 Выбор технологического процесса

Выбор технологии изготовления композитных изделий является многофакторным процессом и зависит от конструкции изделия, условий его эксплуатации, объёма изготавливаемых изделий, а также производственных ресурсов предприятия [21]. Конструкции из ПКМ в виде подкреплённых оболочек вращения могут быть изготовлены с использований ряда технологий. В их числе наиболее простое по аппаратному обеспечению является контактное формование: вакуумное формование, автоклавное формование, безавтоклавный метод инжекции смолы в закрытую форму *Resin Transfer Moulding* (RTM), метод намотки, комбинированный метод термокомпрессионного и автоклавно-вакуумного формования.

Для выбора технологии изготовления конструкции использован метод парных сравнений. Технологии сравниваются и оцениваются с позиций применимости при изготовлении крупногабаритной цилиндрической несущей композитной конструкции космического телескопа в виде оболочки с наружным оребрением.

Контактное формование, основным преимуществом которого является простота и невысокая стоимость оснастки, не всегда позволяет получить изделия со стабильными физико-механическими характеристиками.

Вакуумное формование – метод, который позволяет получить более высокое качество изделий, чем при контактном формовании, и широко применяется при изготовлении стеклопластиковых изделий и трёхслойных конструкций. Однако применение данного метода при изготовлении подкреплённых конструкций не гарантирует необходимых свойств композита, особенно в силовых рёбрах, в связи с возможным появлением пустот в композите и, как следствие, высокой пористости материала.

Автоклавное и вакуумно-автоклавное формование хорошо зарекомендовали себя при изготовлении силовых высоконагруженных конструкций из ПКМ. Однако, при изготовлении оболочечных конструкций с системой подкрепляющих рёбер использование автоклавного формования не позволяет обеспечить равномерное распределение давления на поверхности оболочки и подкрепляющих рёбер, что может сказаться на качестве конструкции в целом.

Метод намотки пропитанного препрега на форму (оправку) применяется при изготовлении тел вращения. При создании цилиндрической несущей конструкции возможно применение данного метода для изготовления оболочки. Рёбра подкрепления должны быть изготовлены другим методом и установлены на оболочку через клеевой слой (возможно с дополнительной механической фиксацией). Многостадийность данного процесса влечёт за собой дополнительные технологические сложности и погрешности изготовленного изделия.

Метод инжекции смолы в закрытую форму с уложенным сухим наполнителем (трансферное формование по технологии RTM) может быть применён для изготовления подкреплённых оболочечных конструкций. Применение данного метода требует использования специальных связующих с низкой вязкостью и значительных финансовых затрат в связи со стоимостью инжекционного оборудования и необходимостью использования двухсторонней оснастки (матрица и пуансон) для изготовления подкреплённой оболочечной конструкции, а также не позволяет изготовить крупногабаритные конструкции.

Вакуумно-автоклавный метод в комбинации с термокомпрессионным формованием используется для изготовления силовых конструкций. Вакуумно-автоклавное формование в сочетании с термокомпрессинным формованием имеет пооперационно-раздельную структуру, что позволяет одновременно выполнять различные операции (например, выкладка препрегов, сборка элементов на форме и пр.) в разных производственных помещениях и использовать для этого универсальное оборудование, а также гибкую структуру технологического процесса, позволяющую корректировать свойства ПКМ без изменения технологической оснастки. Основное преимущество данного метода – одностадийность изготовления подкреплённой конструкции, в результате чего сокращаются временные затраты на сборку и уменьшается себестоимость изделий.

Методом парных сравнений рассмотренных технологий изготовления несущей конструкции телескопа получена матрица ранжирования (таблица 5).

Результаты ранжирования технологий изготовления композитных конструкций показывают преимущество комбинированного вакуумно-автоклавного метода в сочетании с термокомпрессионным формованием. Данный метод формования с оборудованием для изготовления конструкций, комплектом эластичных формующих элементов (ЭФЭ), а также оборудованием для изготовления ЭФЭ и специальной оснастки для формования в практической реализации составляют единый технологический комплекс. Он легко адаптируется к опытному производству и позволяет изготавливать широкий спектр композитных изделий, в том числе особо ответственных размеростабильных корпусных конструкций. Результаты применения данного комплекса нашли отражение при изготовлении конструкций [22, 23].

Результаты выбора технологического процесса позволяют перейти к этапу определения его параметров (этап V в разделе 2).

Таблица 5 – Результаты парных сравнений технологий изготовления конструкции корпуса телескопа

Технология изготовления изделий из ПКМ	Контактное формование	Вакуумное формование	Автоклавное формование	Вакуумно-автоклавное формование в сочетании с термокомпрессионным формованием	Намотка	RTM	Рейтинг	Ранг
Контактное формование	1	0	0	0	2	1	4	4
Вакуумное формование	2	1	0	0	2	2	7	3
Автоклавное формование	2	2	1	0	2	1	8	2
Вакуумно-автоклавное формование в сочетании с термокомпрессинным формованием	2	1	2	1	2	2	10	1
Намотка	0	0	0	0	1	1	2	6
RTM	0	0	1	0	1	1	3	5

Заключение

Структурные решения, принятые на начальных этапах проектирования с использованием системного анализа, далее совместно с методами параметрического анализа и цифровым проектированием, позволили сконструировать и успешно изготовить ряд ответственных терморазмеростабильных изделий из композиционных материалов. Примерами таких изделий являются корпусные части ОЭК высокого разрешения (рисунок 4), разработанные и изготовленные специалистами ООО «СКТБ «Пластик» в кооперации с АО РКЦ «Прогресс» с применением технологических приёмов комбинированного вакуумно-автоклавного метода изготовления композитных конструкций в сочетании с термокомпрессионным формованием.

а б

Рисунок 4 – Размеростабильные цилиндрическая (а) и коническая (б) несущие корпусные конструкции космического телескопа оптико-электронного комплекса высокого разрешения

Данные конструкции прошли комплексные испытания и удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Благодарности

Автор выражает признательность и благодарность за помощь в подготовке публикации профессору Самарского университета, д.т.н. Комарову Валерию Андреевичу.

Список источников

[1] Федеральная космическая программа России на 2016 – 2025 годы, утвержденная постановлением Правительства РФ от 23 марта 2016 г. № 230.- https://www.roscosmos.ru/22347/.

[2] ***Кириченко, Д.В.*** Крупногабаритные оптические космические телескопы / Кириченко Д.В., Клейменов В.В., Новикова Е.В. // Известия вузов. Приборостроение. – 2017. – Т. 60, №7. – С.589-602.

[3] ***Ефанов, В.В.*** Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / В.В. Ефанов, И.Л. Шевалев; Под. ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: В 2-х т. Т. 1 – М.: Издательство МАИ, 2012. – 526 с.

[4] ***Потюпкин, А.Ю.*** Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов / А.Ю. Потюпкин, Н.С. Данилин, А.С. Селиванов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2017. – Том 4, выпуск 4. – С.45-56.

[5] ***Комаров, В.А.*** Учёт масштабного фактора при проектировании крупногабаритных размеростабильных конструкций космических аппаратов / В.А. Комаров, О.Г. Жидкова // Полет. – 2019. – № 6. – С.16-22.

[6] ***Биткин, В.Е.*** Выбор материалов для изготовления размеростабильных несущих конструкций / В.Е. Биткин, О.Г. Жидкова, В.А. Комаров // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2018. – Т. 17, № 1. – С.100-117.

[7] ***Мартынов, Д.Я.*** Курс практической астрофизики / Д.Я. Мартынов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1977. – 544 с.

[8] ***Есипов, Б.А.*** Методы оптимизации и исследование операций / Б.А. Есипов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 180 с.

[9] ***Васильев, В.В***. Проектирование конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов. В кн.: Теоретические основы авиа- и ракетостроения. – М.: Дрофа, 2005. – 484 с.; С.625-669.

[10] ***Вейсхаар, Т.А.*** Человеческий фактор в проектировании авиационных конструкций / Т.А. Вейсхаар, В.А. Комаров // Полет. – 1998. № 1. - С.17-23.

[11] ***Ларичев, О.И.*** Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 208 с.

[12] ***Саати Т.*** Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

[13] ***Пиявский, С.А.*** Формулы для вычисления универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №2(32). - С.282-298. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.

[14] ***Пиявский, С.А.*** Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2016. – Т.6, №4(22). – С.414-435. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.

[15] ***Комаров, В.А.*** Проектирование силовых схем авиационных конструкций //Актуальные проблемы авиационной науки и техники. - М.: Машиностроение, 1984. – С.114-129.

[16] Патент 2486101RU, МПК, B64C, B64G, B64B. Подкрепленная оболочка вращения из полимерных композиционных материалов / О.В. Биткина, А.В. Денисов, А.М. Митюшкин, С.А. Еремин, А.В. Родионов, Н.М. Мелехина, Д.В. Митюшкина, О.Г.Жидкова, С.А. Гордеев. Патентообладатель: ОАО «Пластик». Заявлено 24.08.2011; опубликовано 27.06.2013 // Бюл. № 18.

[17] ***Вольмир, А.С.*** Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. – М: Наука, 1967. – 984 с.

[18] ***Кан, С.Н.*** Устойчивость оболочек. / С.Н. Кан. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1970. – 156 с.

[19] ***Комаров, В.А.*** Точное проектирование / В.А. Комаров // Онтология проектирования. – 2012. № 3. – С.8-23.

[20] ***Komarov, V.A.*** New Approach to Improving the Aircraft Structural Design Process / V.A. Komarov // Journal of Aircraft. – 2002. – Volume 39, Number 2. – P.227-233.

[21] ***Биткин, В.Е.*** Технологический комплекс для изготовления силовых и высокоточных размеростабильных элементов конструкций интегрального типа из волокнистых композиционных материалов / В.Е. Биткин, А.В. Денисов, О.Г. Жидкова, О.В. Биткина // Конструкции из композиционных материалов. – 2014. – № 1. – С.18-23.

[22] Патент 2483927RU, МПК, B32B, F02K. Адаптер в виде подкрепленной оболочки вращения конической формы из полимерных композиционных материалов / В.Е. Биткин, О.В. Биткина, А.В. Денисов, А.М. Митюшкин, С.А. Еремин, А.А. Воронин О.Г., Жидкова, О.Н. Сухих, Д.А. Солдатов, Н.М. Мелехина. Патентообладатель: ОАО «Пластик». Заявлено 27.05.2011; опубликовано 10.06.2013 // Бюл. № 16.

[23] Патент 2674205RU, МПК, B32B, B29C. Конструкция размеростабильной платформы из слоистого полимерного композиционного материала / В.Е. Биткин, А.В. Денисов, В.В. Агапов, В.Г. Чертов, О.Г. Жидкова, В.Е. Назаров, М.А. Денисова. Патентообладатель: ООО «Специальное Конструкторско-технологическое бюро «Пластик». Заявлено 09.01.2018; опубликовано 05.12.2018 // Бюл. № 34.

APPLICATION OF THE PAIRWISE COMPARISON METHOD IN THE DESIGNING OF COMPOSITE FRAMEWORK OF SPACE TELESCOPES

O.G. Zhidkova

LLC Special Development and Technology Bureau «Plastik», Syzran, Russia
ol_zhidkova@yahoo.com

Abstract

The problem of designing precision large-sized composite framework constructions is considered in the article. The prospects of using composite materials in large-sized supporting constructions of space telescopes are noted. The design task of creating a cylindrical construction of the telescope body of the optoelectronic complex is formulated at the verbal level and in standard form in terms of non-linear mathematical programming. The decomposition of the problem into a number of structural and parametric subtasks is proposed. The ways of solving the difficultly formalized problems of choosing structural solutions are discussed using the example of a composite framework construction of a space telescope. The choice of the concept of the framework telescope power scheme and the directive technology for its manufacture is considered in detail. To make a choice of design options and manufacturing techniques for designing the case, the method of pairwise comparisons from the system analysis was applied, taking into account the heterogeneous requirements for the product. New technical solutions are given: a shell with an external set of reinforcing ribs and the technology of its molding using elastic forming elements, confirmed by patents. Examples of framework structures from composite materials designed and manufactured using the presented methods are shown. The effectiveness of the applied methods in the design of composite framework in conditions of product requirements validity is confirmed by the parameters of the manufactured products.

Key words: *space telescopes, thermal stability, composites, method of pairwise comparisons, carbon-reinforced plastics, designing, technology.*

Citation: *Zhidkova O.G.* Application of the pairwise comparison method in the designing of composite framework of space telescopes [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 536-548. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-536-548.

References

[1] The Federal Space Program of Russia for 2016 - 2025, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of March 23, 2016 No. 230. - https://www.roscosmos.ru/22347.

[2] ***Kirichenko DV, Kleimenov VV, Novikova EV.*** Large-sized optical space telescopes [In Russian]. News of universities. Instrument making. – 2017; 60(7): 589-602.

[3] ***Efanov VV, Shevalyov IL.*** Design of automatic spacecraft for basic scientific research [In Russian]. Ed. V.V. Efanova, K.M. Pichkhadze: In 2 vols. Vol. 1. - M.: MAI Publishing House, 2012. - 526 p.

[4] ***Potyupkin AU, Danilin NS, Selivanov AS.*** Clusters of small-sized spacecraft as a new type of space objects [In Russian]. Rocket and space instrument engineering and information systems. – 2017; 4(4): 45-56.

[5] ***Komarov VA, Zhidkova OG.*** Consideration of a large-scale factor in the design of large-sized dimensionally stable structures of spacecraft [In Russian]. Russian scientific and technical journal "Flight". – 2019; 6: 16-22.

[6] ***Bitkin VE, Zhidkova OG, Komarov VA.*** The choice of materials for the manufacture of dimensionally stable load-bearing structures [In Russian]. Bulletin of Samara University. Aerospace engineering, technology and engineering. – 2018; 17(1): 100-117.

[7] ***Martynov DYa.*** Practical Astrophysics Course [In Russian]. - M.: Science. The main edition of the physical and mathematical literature, 1977. - 544 p.
[8] ***Esipov BA.*** Optimization methods and operations research [In Russian]. - Samara: Publishing house Samar. state aerospace. University, 2007.- 180 p.
[9] ***Vasiliev VV.*** Design of aircraft structures made of composite materials [In Russian]. In: Theoretical Foundations of Aircraft and Rocket Engineering. - M.: Drofa, 2005. - 484 p.; P.625-669.
[10] ***Weishaar TA, Komarov VA.*** The human factor in the design of aircraft structures [In Russian]. Russian scientific and technical journal Flight ". – 1998; 1: 17-23.
[11] ***Larichev OI, Moshkovich EM.*** Qualitative decision-making methods. Verbal decision analysis [In Russian]. - M.: Science. Fizmatlit, 1996.- 208 p.
[12] ***Saati T.*** Decision Making. Hierarchy Analysis Method [In Russian]. - M.: Radio and Communications, 1993. - 320 p.
[13] ***Piyavsky SA.*** Forms for calculation of universal coefficients when adopting multiple critical decisions [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 282-298. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.
[14] ***Piyavsky SA.*** How do we digitize the concept of «more important» [In Russian].*Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 414-435. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
[15] ***Komarov VA.*** Design of power circuits of aircraft structures [In Russian]. Actual problems of aviation science and technology. - M.: Mechanical Engineering, 1984. - P.114-129.
[16] Patent 2486101RU, IPC, B64C, B64G, B64B. The reinforced shell of rotation from polymer composite materials [In Russian]. O.V. Bitkina, A.V. Denisov A.M. Mityushkin, S.A. Eremin, A.V. Rodionov, N.M. Melekhina, D.V. Mityushkina, O.G. Zhidkova, S.A. Gordeev. Patent holder: Open Joint-Stock Company Plastic. Stated August 24, 2011; published on June 27, 2013 // Bull. Number 18.
[17] ***Volmir AS.*** Stability of deformable systems [In Russian]. - M: Nauka, 1967. - 984 p.
[18] ***Kahn SN.*** Shell stability [In Russian]. - Kharkov: Kharkov University Press, 1970. - 156 p.
[19] ***Komarov VA.*** Concurrent design [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2012; 3: 8-23.
[20] ***Komarov VA.*** New Approach to Improving the Aircraft Structural Design Process / Journal of Aircraft. – 2002; 39(2): 227-233.
[21] ***Bitkin VE, Denisov AV, Zhidkova OG, Bitkin OV.*** Technological complex for the manufacture of power and high-precision dimensionally stable structural elements of the integral type of fiber composite materials [In Russian]. Designs from composite materials. – 2014; 1: 18-23.
[22] Patent 2483927RU, IPC, B32B, F02K. An adapter in the form of a reinforced shell of conical shape rotation made of polymer composite materials [In Russian]. V.E. Bitkin, O.V. Bitkina, A.V. Denisov, A.M. Mi-tyushkin, S.A. Eremin, A.A. Voronin, O.G. Zhidkova, O.N. Sukhikh, D.A. Soldatov, N.M. Melekhin. Patent holder: Open Joint-Stock Company Plastic. Stated May 27, 2011; published 06/10/2013 // Bull. Number 16.
[23] Patent 2674205RU, IPC, B32B, B29C. The design of a dimensionally stable platform from a layered polymeric composite material [In Russian]. V.E. Bitkin, A.V. Denisov, V.V. Agapov, V.G. Devil, O.G. Zhidkova, V.E. Nazarov, M.A. Denisova. Patent holder: Limited Liability Company “Special Design and Technology Bureau “ Plastic”. Stated January 9, 2018; published on December 5, 2018 // Bull. Number 34.

Сведения об авторе

Жидкова Ольга Геннадьевна, 1973 г. рождения. Окончила Самарский государственный университет в 1995 году. Заместитель генерального конструктора по научной работе ООО «СКТБ «Пластик». В списке научных трудов 8 работ в области создания размеростабильных конструкций из полимерных композиционных материалов, соавтор трёх патентов.

Olga Gennadevna Zhidkova (b. 1973) graduated from the Samara State University (Samara-city) in 1995. Olga currently is the Deputy General Designer of Science in LLC SDTB «Plastik». She is the co-author of 8 scientific articles and abstracts in the field of dimensionally stable constructions from polymeric composite material, and co-author of 3 patents.

Индекс 29151

Указ Президента Российской Федерации

О РАЗВИТИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В целях обеспечения ускоренного развития искусственного интеллекта в Российской Федерации, проведения научных исследований в области искусственного интеллекта, повышения доступности информации и вычислительных ресурсов для пользователей, совершенствования системы подготовки кадров в этой области постановляю:

1. Утвердить прилагаемую **Национальную стратегию развития искусственного интеллекта** на период до 2030 года.

2. Правительству Российской Федерации:

а) до 15 декабря 2019 г. обеспечить внесение изменений в национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации», в том числе разработать и утвердить федеральный проект «**Искусственный интеллект**»;

б) представлять Президенту Российской Федерации ежегодно доклад о ходе реализации Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года;

в) предусматривать при формировании в 2020 - 2030 годах проектов федеральных бюджетов на очередной финансовый год и на плановый период бюджетные ассигнования на реализацию настоящего Указа.

3. Настоящий Указ вступает в силу со дня его подписания.

Президент
Российской Федерации
В.Путин
Москва, Кремль,
10 октября 2019 года,
N 490

ARTIFICIAL INTELLIGENCE JOURNEY

8-9 ноября 2019, Москва - https://ai-journey.ru/

КОНФЕРЕНЦИЯ **AIJ** с ведущими международными и российскими спикерами-экспертами в области искусственного интеллекта и анализа данных, а также представителями компаний-лидеров по развитию и применению технологий искусственного интеллекта в бизнес-процессах

AI Journey - серия мероприятий, посвящённых искусственному интеллекту и анализу данных

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