

Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)
ISSN 2313-1039 (E)

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Russian
Science
Citation
Index

Vol **10**
N **4**
2020

Научный журнал - Scientific journal

Scientific journal

Volume 10

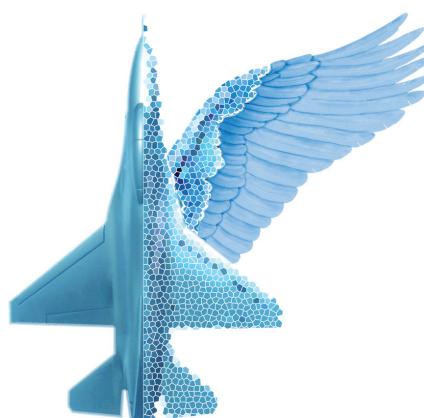
№ 4

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 10

№ 4



Editorial Board - Редакционная коллегия

Nikolay M. **Borgest***, Ph.D., Professor Samara University, Member of IAOA, Samara, Russia
 Stanislav N. **Vasiliev***, Doctor of Phys. and Math. Sciences, Professor, Academician of the RAS, ICS of the RAS, Moscow, Russia
 Tatiana A. **Gavrilova***, Doctor of Technical Sciences, Professor, GSOM SPbU, St.-Petersburg, Russia
 Vladimir G. **Gainutdinov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, KNITU-KAI, Kazan, Russia
 Vladimir V. **Golenkov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus
 Vladimir I. **Gorodetsky***, Doctor of Technical Sciences, Professor, InfoVings LLC, St. Petersburg, Russia
 Valeriya V. **Gribova***, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, IAPU of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia
 Yury A. **Zagorulko***, Ph.D., Senior Researcher, ISI of the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
 Anton V. **Ivaschenko***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State Technical University, Samara, Russia
 Valery A. **Komarov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Vladik **Kreinovich***, Ph.D., Professor, University of Texas at El Paso, El Paso, USA
 Victor M. **Kureichik***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Taganrog, Russia
 Dmitry V. **Lande***, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, IPRI NASU, Kiev, Ukraine
 Paulo **Leitao***, Professor at Polytechnic Institute of Bragança, Bragança, Portugal
 Vladimir **Marik***, Professor, Scientific Director of the CIIRC of the Czech Technical University in Prague, Praha, Czech
 Lyudmila V. **Massel***, Doctor of Technical Sciences, Professor, ISEM of the Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia
 Aleksandr Yu. **Nesterov***, Doctor of Philosophy, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Dmitry A. **Novikov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, ICS RAS, Moscow, Russia
 Alexander V. **Palagin***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NASU, Ins. of Cybernetics, Kiev, Ukraine
 Semyon A. **Piyavsky***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow City Pedagogical University, Samara, Russia
 Yury M. **Reznik***, Doctor of Philosophy, Professor, Institute of Philosophy of the RAS, Moscow
 George **Rzevski***, Professor, Open University, London, UK
 Peter O. **Skobelev***, Doctor of Technical Sciences, «Smart solutions» Scientific Production Co., Samara, Russia
 Sergey V. **Smirnov***, Doctor of Technical Sciences, ICCS RAS, member of IAOA, Samara, Russia
 Dzhavdet S. **Suleymanov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia
 Boris E. **Fedunov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia
 Altynbek **Sharipbay***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Artificial Intelligence, Nur-Sultan, Kazakhstan
 Boris Ya. **Shvedin***, Ph.D., Member of IAOA, Dan Rose LLC, Rostov-on-Don, Russia

Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., профессор, Самарский университет, член IAOA, Самара, Россия
Васильев Станислав Николаевич*, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Гаврилова Татьяна Альбертовна*, д.т.н., профессор, ВШМ СПбУ, Санкт-Петербург, Россия
Гайнутдинов Владимир Григорьевич, д.т.н., профессор, КНИТУ-КАИ, Казань, Россия
Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск, Беларусь
Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, ООО «ИнфоВингс», Санкт-Петербург, Россия
Грибова Валерия Викторовна*, д.т.н., с.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
Загорюлько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия
Иващенко Антон Владимирович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара, Россия
Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Крейнович Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо, США
Курейчик Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев, Украина
Лейтао Пауло, профессор, Политехнический институт, Браганса, Португалия
Марик Владимир, профессор, научный директор ЧИИРК Чешского технического университета, Прага, Чехия
Массель Людмила Васильевна*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск, Россия
Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Палагин Александр Васильевич, д.т.н., профессор, академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, Киев, Украина
Пиявский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, Московский город.педагог.университет, Самара, Россия
Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва, Россия
Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон, Великобритания
Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», Самара, Россия
Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, член IAOA, Самара, Россия
Сулейманов Джавдет Шевкетович*, д.т.н., профессор, академик АН РТ, Казань, Россия
Федунов Борис Евгеньевич*, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, Москва, Россия
Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Ин-т искусственного интеллекта, Нур-Султан, Казахстан
Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., член IAOA, ООО «Дан Роуз», Ростов-на-Дону, Россия

* - members of the Russian Association of Artificial Intelligence - члены Российской ассоциации искусственного интеллекта - http://www.raai.org/about/about.shtml?raai_list

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

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

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. The journal has been successfully evaluated in the evaluation procedure for the ICI Journals Master List 2014-2019 and journal received the ICV (Index Copernicus Value).

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

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 включен в список журналов, входящих в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **1,00** (2013), **0,93** (2014), **1,34** (2015), **1,07** (2016), **1,00** (2017), **1,17** (2018), **0,86** (2019).

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Искусственного много – интеллекта мало 413-414

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Н.М. Боргест 415-448

Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»:
краткая история личностного опыта

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.С. Крылов, А.А. Кудрявцев, Л.Н. Абдурайимов 449-462

Компьютерный анализ эмоциональной компоненты научных публикаций
на примерах в физике и экономике

Р.В. Ерженин, Л.В. Массель 463-476

Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования
сложной системы управления

И.Н. Фомин 477-488

Применение инструментов онтологического анализа
для формирования расчётных моделей электроснабжения

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

Е.А. Сидорова, И.Р. Ахмадеева, Ю.А. Загорюлько, А.С. Серый, В.К. Шестаков 489-502

Платформа для исследования аргументации в научно-популярном дискурсе

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.А. Зуенко 503-515

Компактное представление ограничений на основе новой интерпретации понятия
«кортеж многоместного отношения»

В.В. Борисов, М.В. Черновалова, С.П. Курилин 516-526

Мониторинг и адаптация базы проектных прецедентов
при управлении инновационными проектами на основе нечёткого онтологического подхода

В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Д.Р. Ахметова, Г.Р. Сафина 527-539

Формирование параметров модели управления проектом
на основе линеаризации функциональных зависимостей

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ САММИТ 2020. Коммюнике: Графы знаний 540-555

10 лет журналу «Онтология проектирования» 556

Журнал ориентирован на учёных и специалистов, работающих по научным направлениям: онтологические аспекты общих вопросов формализации проектирования, прикладные онтологии проектирования, инжиниринг онтологий, методы и технологии принятия решений.

Правила подготовки рукописей статей размещены на сайте журнала «Онтология проектирования»: http://agora.guru.ru/scientific_journal/.

Контакты учредителей

ФИЦ Самарский научный центр РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smimov@iccs.ru.

Самарский университет: 443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, тел.: +7 (846) 267 46 47, Боргест Н.М., borgest@yandex.ru.

ООО «Новая техника» (издательство): 443010, Самара, ул. Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс: +7 (846) 332 67 81.

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 30.12.2020. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

Much Artificial, little Intelligence 413-414

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

N.M. Borgest 415-448
Formation and development of Ontology of designing as a scientific discipline:
a brief history of personal experience

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

V.S. Krylov, A.A. Kudryavtsev, L.N. Abduraimov 449-462
Computer analysis of the emotional component of scientific publications
using examples in physics and economics

R.V. Erzhenin, L.V. Massel 463-476
Ontological approach to the knowledge representation about the methodology of modeling
a complex control system

I.N. Fomin 477-488
Application of ontological analysis tools for the formation of calculation models of power supply

ONTOLOGY ENGINEERING

E.A. Sidorova, I.R. Akhmadeeva, Yu.A. Zagorulko, A.S. Sery, V.K. Shestakov 489-502
Research platform for the study of argumentation in popular science discourse

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

A.A. Zuenko 503-515
Compact representation of constraints based on a new interpretation of the concept
«tuple of a multi-place relation»

V.V. Borisov, M.V. Chernovalova, S.P. Kurilin 516-526
Monitoring and adaptation of the base of design precedents in the management of innovative projects
based on a fuzzy ontological approach

V.E. Gvozdev, O.Ya. Bezhaeva, D.R. Akhmetova, G.R. Safina 527-539
Formation of project management model parameters based on linearization of functional dependencies

ONTOLOGY SUMMIT 2020: Knowledge Graphs (*Edited by Diana Borgest*) 540-555

10th Anniversary of the Scientific Journal «Ontology of Designing» 556

The journal is aimed at scientists and specialists working in the following research areas: ontological aspects of general issues of design formalization, applied design ontologies, ontology engineering, methods and technologies of decision making.

The current version of the Rules for the preparation of manuscripts of articles for the journal «Ontology of Designing» is on the journal website:
http://agora.guru.ru/scientific_journal/.

Contacts of the Founders

FIC Samara Scientific Center of the RAS: 61, Sadovaya st., Samara, 443020, Russia. Tel.: +7 (846) 333 27 70, S.V. Smirmov, smirmov@iccs.ru

Samara University: 34, Moskovskoye shosse, bldg. 10, Samara, 443086, Russia. Tel.: +7 (846) 267 46 47, N.M. Borgest, borgest@yandex.ru

New Engineering LLC (publishing house): 145, Frunze st., Samara, 443010, Russia. Tel.: +7 (846) 332 67 84, fax: +7 (846) 332 67 81



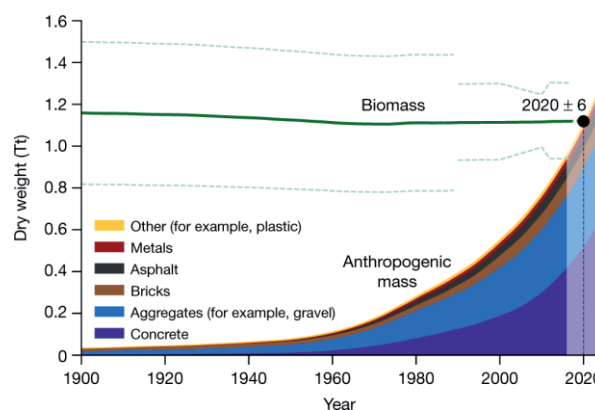
ОТ РЕДАКЦИИ

Искусственного много – интеллекта мало Much Artificial, little Intelligence

“As soon as it works, no one calls it AI anymore”
John McCarthy

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

«Масса созданных человеком объектов стала больше, чем всё живое на Земле». Под такими заголовками в декабре этого года во многих СМИ транслировалась перепечатка статьи из журнала *The Nature*¹. Человечество стало доминирующей силой в формировании лица Земли, созданная им масса предметов по оценкам учёных в 2020 году сравнялась с общей живой биомассой на Земле. Сейчас мы находимся в точке пересечения (см. рисунок), когда биомасса равна антропогенной массе. В среднем для каждого человека на земном шаре каждую неделю создаётся антропогенная масса, превышающая его массу.



Понимая ограниченность человеческого познания и кажущуюся бесконечность мира природы, учёные говорят о необходимости обеспечить объективную меру общего баланса между живым и созданным человеком. В то время как масса людей составляет всего около 0,01% мировой биомассы (а доля её разумной части пренебрежимо мала), наша цивилизация тысячелетия оказывает на собственную среду обитания существенное влияние, которое в последнее столетие стало кардинально менять всю картину мира.

Доминирование человека толкает его управляющее начало, так называемые элиты, на новые свершения, на Перезагрузку (*The Great Reset*)². Человечество, живущее в мире безудержного потребления без какой-либо оглядки на исчерпание ограниченных природных ресурсов, обречено на перезагрузку не только своих взглядов и концепций, но и на реальные шаги в сторону сохранения своего собственного существования³. Тысячелетиями Человечество всё дальше и всё более стремительно уходило из естественной для него среды обитания, создавая для себя *искусственные* материальные и виртуальные среды.

Последние полвека активно взялись за *интеллект*, за искусственное его производство. Теория и практика искусственного интеллекта (ИИ) породили массу проектов от систем поддержки принятия решений в различных предметных областях, до автономных роботов самого разного назначения. Стратегии развития ИИ появились в большинстве развитых стран мира⁴. Научное сообщество на начальном этапе развития наук и технологий ИИ недолго пребывало в комфортных условиях спокойного анализа проблем и задач, синтеза моделей и ме-

¹ Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J. et al. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature* (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>. Опубликовано: 09 декабря 2020.

² См. статью от редакции «Онтология пандемии: реальная и мнимая» в нашем журнале том 10, №2, 2020 и 4-ю стр. его обложки. - [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2020_2\(36\)/1_Editorial.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2020_2(36)/1_Editorial.pdf).

³ См. также статью от редакции «Вперёд, в будущее!». - http://ontology-of-designing.ru/article/2018_1%2827%29/1_Editors.pdf.

⁴ См. например, статью: 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.

тодов. Первые успехи, доказавшие реализуемость найденных решений, и первые технологии мгновенно вышли на рынок, показав эффективность ИИ во многих сферах (финансовых, логистических, коммуникационных, военных и др.). Результат ошеломил заказчиков и потребителей. Коммерциализация захватывает всех, желающих получить выгоду от внедрения технологий ИИ. Государственные институты также активно берут в оборот возможность тотального контроля и «умного» управления.

Сейчас в наши двери стучится уже «сильный» ИИ, и возникающие с ним озабоченности абсолютно не лишние. Сообщество учёных готовит серию стандартов для разработчиков систем с ИИ с целью минимизировать риски от деятельности этих систем в обществе. Например, стандарт IEEE P7000⁵ устанавливает набор процессов, с помощью которых организации могут учитывать человеческие этические ценности на всех этапах разработки концепции. Стандарт поддерживает управление и инжиниринг в прозрачной коммуникации с заинтересованными сторонами для выявления ценностей и определения приоритетов, помогает учитывать этические ценности при проектировании систем. Стандарт IEEE 7010-2020⁶ рекомендует использовать практику IEEE для оценки влияния автономных (A) и интеллектуальных систем (IS) на благополучие человека. Положительный результат влияния A/IS - общая цель этого стандарта, который базируется на научно-обоснованных индексах благополучия, основанных на процессе взаимодействия A/IS с заинтересованными сторонами.

Прошедший квартал уходящего года был богат на события, связанные с ИИ. Так, с 10 по 16 октября 2020 года в Москве прошёл I Национальный Конгресс по когнитивным исследованиям, ИИ и нейроинформатике, в рамках которого прошла Восемнадцатая Национальная конференция по ИИ (КИИ-2020)⁷, традиционно организуемая Российской ассоциацией ИИ (РАИИ). С 3 по 5 декабря 2020 года состоялось очередное парадное шоу Сбербанка - онлайн-конференция AI Journey⁸ с участием Президентов двух стран - России и Казахстана. Среди многих интересных докладов приглашённых лекторов стоит отметить выступление, подготовленное академиком РАН, президентом Самарского университета В.А. Соيفером, на тему «Роль человека в мире ИИ»⁹, где автор предложил принять участие в проектах открытой лаборатории OPENLAB Human Actor, формируемой в Самарской области.

В декабре первые группы преподавателей российских ВУЗов завершили повышения квалификации по программе «Искусственный интеллект» в Санкт-Петербургском государственном университете под руководством академического директора Т.А. Гавриловой. Перегрузка образовательных курсов вошла в активную фазу во многих университетах России.

Перезагрузка произошла и в РАИИ. В декабре состоялись выборы руководства РАИИ – Президента, Председателя Научного совета, др. органов РАИИ. Активным ходом идёт подготовка к КИИ-2021, которую планируется провести осенью 2021 года. Редакция и редколлегия нашего журнала, половина которой является членами РАИИ, выражают надежду на активное включение интеллектуальной мощи РАИИ в созидательную работу над проблемами и задачами систем ИИ в различных предметных областях.

Хочется верить, что доля интеллекта в искусственном и разумные для человечества решения будут способствовать дальнейшему гармоничному развитию цивилизации, в которой каждый её член на себе сможет почувствовать пользу и радость от ИИ. *Dum spiro, spero!*

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

⁵ IEEE P7000. Draft Model Process for Addressing Ethical Concerns During System Design.

⁶ IEEE 7010-2020. IEEE Recommended Practice for Assessing the Impact of Autonomous and Intelligent Systems on Human Well-Being.

⁷ Программа КИИ-2020. - <https://caics.ru/raai>.

⁸ AI Journey – серия мероприятий по искусственному интеллекту и анализу данных, проводимая ведущими российскими и международными компаниями, лидерами по применению технологий искусственного интеллекта. <https://ai-journey.ru/>

⁹ <https://ssau.ru/news/18736-rol-cheloveka-v-mire-iskusstvennogo-intellekta>. См. также - <https://youtu.be/O6-qLOkWgUQ>,

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.8

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448

Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личного опыта

Н.М. Боргест

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

Аннотация

Сделана попытка представить авторский взгляд на историю формирования и развития научной дисциплины, именуемой как онтология проектирования. Статья обобщает работы, выполненные автором на протяжении в основном последних десяти лет. Автор, как соучредитель и выпускающий редактор журнала, одноименного с рассматриваемой дисциплиной, использует опубликованные в нём статьи, а также материалы работ, представленных на различных международных конференциях, в других профильных журналах и монографиях. Приведённый анализ формирования дисциплины во многом опирается на собственный личный опыт автора и рассматривается через призму этого опыта, при этом в обзоре показано, что базой этой сформированной дисциплины являются многочисленные работы предшественников, начиная от архитекторов древней Греции, математиков и инженеров средневековья и заканчивая современными работами в области искусственного интеллекта и информационных технологий. Автор делится краткой личной предысторией формирования собственного понимания онтологии проектирования, отдавая должное своему первому научному руководителю В.Г. Маслову, который привил ему системный подход к оптимизации сложных систем, уделяя особое внимание проектной неопределённости. Работа над созданием систем автоматизированного проектирования авиационного двигателя, а в дальнейшем и самолета в целом в кооперации с промышленностью, читаемые учебные дисциплины по проектированию технических систем, общей теории проектирования, информационным системам, базам данных, онтологии проектирования и онтологии производственной сферы позволили автору: выработать свой взгляд на научный базис новой дисциплины; определить её границы и место в существующем научном пространстве; сформировать круг ключевых терминов и само понятие онтологии проектирования. В статье приводятся примеры реализации авторской концепции онтологии проектирования в различных предметных областях, в частности, при создании робота-проектанта на этапе предварительного проектирования самолета, при формировании модели будущего университета, в задачах производственного планирования, разработки электронных руководств, проектирования научных журналов и др. организационно-технических систем.

Ключевые слова: системный анализ, научная дисциплина, онтология, искусственный интеллект, проектирование, оптимизация, личный опыт.

Цитирование: Боргест, Н.М. Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личного опыта / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №4(38). – С.415-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.

Введение

Научные споры и дискуссии, способствующие поиску истины, согласованным решениям, пониманию предмета исследования, составляют важную и определяющую часть жизни настоящего учёного, образ которого формируется у каждого, кто искренне служит науке.

Представляемый материал – это смелое утверждение того, что онтология проектирования, как научная дисциплина, состоялась. Она сформировалась, обрела круг единомышленников, согласившихся с определением её границ, её научного базиса, её ключевых понятий. И этот номер журнала, завершающий его десятый том, - яркое тому подтверждение. При этом *целью* данной работы является аргументированное обоснование этого утверждения.

Второе дыхание онтологии, берущей своё начало в философии, активно проявилось в эпоху информатизации и «цифровизации всего и вся». Без соглашений, принимаемых и одобряемых участниками любой деятельности – людьми и машинами, - дальнейшее развитие невозможно. Отсюда следует *актуальность* разрабатываемых тем, способствующих адекватным коммуникациям в организационных системах, согласованным решениям в информационных и технических системах. Говоря об интероперабельности систем, как способности к их взаимодействию, трудно представить её реализацию на практике без построения онтологий предметных областей (ПрО).

Важным и, пожалуй, ключевым в статье при рассмотрении заявленной темы является сделанный упор на личностный опыт, на свою собственную историю, что по определению соответствует главному атрибуту любой онтологии – её субъективности. При этом объективизация, характерная для науки, возникает в процессе выработки соглашений, приемлемых для акторов и принимаемых ими. Если объективность существования исследуемых объектов, процессов не вызывает вопросов и путём разного рода измерений и оценок подтверждается, то языковая, терминологическая и понятийная проблемы решаются лишь путём выработки консенсуса. Этот понятийно-терминологический консенсус достигается, как и всё в информационном пространстве, за счёт активного внедрения в оборот, навязывания (если хотите), многократного повторения и иных механизмов и способов убеждения, включая административные. Наиболее мягкое (естественное) включение новых терминов и понятий происходит от более высокоразвитых к менее развитым организационно-техническим и информационным системам в силу принятия ранее неизвестного в той форме и с теми именами, какие заявлены их разработчиками, авторами или переводчиками¹.

К задачам, которые поставил перед собой автор работы, следует отнести следующие:

- обозначить и по возможности определить степень разработанности темы, начало которой имеет более чем тысячелетнюю историю;
- показать её значимость для теории и практики в современных условиях бурного развития систем, именуемых как системы с искусственным интеллектом (ИИ);
- выделить новизну методов, принципов и подходов в разрабатываемых теориях и информационных системах.

В статье не приводятся окончательные решения всех названных задач, т.к. перманентно развивающееся пространство знаний, в т.ч. в области онтологии проектирования, постоянно мутирует, открывая новые горизонты, выявляя новые возможности и ресурсы. Указанные задачи автор представил как результат осмысления предшествовавших достижений в области системного и онтологического анализа, проектирования различных организационно-технических систем. Вбирая накопленный материал, на протяжении многих лет вырабатывая и формируя свой опыт, автор делится своими соображениями о настоящем и будущем научной дисциплины онтология проектирования.

¹ Многочисленные споры до сих пор не утихают в среде русскоговорящих специалистов (и не только их) по поводу термина «искусственный интеллект» как аналог английского «*Artificial Intelligence*» (искусственная способность к рассуждениям). Контекст понятия у каждого может быть свой (наука, система, процессы...). Автор готов внести в копилку многочисленных определений свою краткую, но, как представляется, широкую по содержанию трактовку этого понятия, выработанную для своих студентов: «ИИ моделирует процессы, инициированные человеком, но выполняемые без его участия». Более подробно об ИИ и его стратегиях автор высказался на страницах этого журнала в статье [1].

1 Краткая личностная предыстория

В читаемом в Самарском университете уже более 20 лет авторском курсе «История науки и техники» [2, 3] изучение предмета начинается с личностей, внёсших значительный вклад в науку, в созданные ими артефакты. История их жизни подтверждает, что именно с ближнего круга, а затем и более дальнего, со знакомства с учителем, университетскими и академическими учёными, с первых самостоятельных исследований, с первых публикаций и выступлений начинается путь в науку. Для автора профессор *В.Г. Маслов* [4] был, пожалуй,



В.Г. Маслов
(1926-2006)

первым, кто убедил его и в прямом смысле сумел зажечь интерес к науке, научному поиску [5]. Здесь стоит отметить, что В.Г. Маслов формировался как учёный в коллективе, возглавляемом генеральным конструктором, академиком АН СССР Н.Д. Кузнецовым. На Куйбышевском моторном заводе он работал с ведущими конструкторами и проектантами двигателей немецких компаний, вбирая их опыт, навыки, умения планировать исследования, добиваться значимого конечного результата. Впоследствии собранный им коллектив, а также мой наставник, в то время аспирант, а ныне учёный секретарь Самарского университета профессор *В.С. Кузьмичев* [6], окончательно определили жизненный путь автора. Для автора до сих пор секрет - как мог В.Г. Маслов дать студенту задание:

разработать критерий энергопотребления самолёта и его силовой установки за весь жизненный цикл? Как удалось ему убедить студента-двигателиста, знакомого лишь с теорией рабочего процесса и с конструкцией турбореактивного двигателя, в возможности разработать методику расчёта этого показателя и использования её при оптимизации параметров двигателя в системе самолёта? Но именно работа над этим критерием сформировала системный и существенный (онтологический) взгляд на проектирование, убедила в многокритериальности любых задач и присущей им разного рода неопределённости. Более того, автор убеждён, что в цивилизационном развитии, в его оценке критерий энергопотребления является определяющим и имеет философско-физический смысл, а не только экологическое наполнение. Живая материя, живые существа, созданные природой и долгой эволюцией, выработали механизмы, которые максимально экономно расходуют и максимально эффективно перерабатывают энергию. Коэффициент полезного действия (КПД) артефактов пока не идёт в сравнение с КПД биологических существ, созданных природой, не говоря уже о гармоничном сосуществовании их со средой обитания. Поэтому автор уверен, что этот критерий как инструмент найдёт более широкое применение в оценке артефактов уже в ближайшем будущем...

Дальнейшая работа над диссертацией, участие в конференциях, подготовка публикаций и отчётов по НИР, работа с предприятиями позволили вобрать опыт известных учёных, с которыми посчастливилось встретиться на своём пути. Это: академик *В.П. Мишин* [7], на секции которого на Гагаринских чтениях автор докладывал разработанный им критерий [8]; проф. *И.А. Биргер* [9], с которым он познакомился на школе по оптимизации в Алуште, на конференции по САПР в Уфе и на съезде по теории механизмов и машин в Одессе [10]; проф. *С.М. Егера* [11], которому он представил свою модель многорежимного самолета для оптимизации параметров его силовой установки [12]; проф. *О.С. Самойлович* [13], сменивший в МАИ на посту заведующего кафедрой проектирования самолетов ушедшего из жизни С.М. Егера и активно поддержавший работы по дальнейшей автоматизации и оптимизации самолета на предварительном этапе проектирования²; проф. *В.П. Лукачёв* [14], на кафедре которого автор начинал свою деятельность и в Совете под руководством которого защищал

² Автор благодарен проф. О.С. Самойловичу за его высокую оценку книги «Автоматизация предварительного проектирования самолета» [28]. Его письмо-отзыв было опубликовано в статье «От редакции» во 2-ом номере журнала за 2012 год. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2012_2%284%29/1_From_the_Editors.pdf.



В.А. Комаров

диссертацию³; проф. *В.А. Комаров* [15, 16], с кафедрой которого впоследствии автор связал свою судьбу; многие другие замечательные и талантливые учёные, конструкторы и проектанты.

Стоит отметить, что в тот период активно разрабатывались как методологические основы теории принятия решений, так и методы, технологии и программные реализации выбора и обоснования решений. Это работы Ю.Б. Гермейера [17], Е.С. Вентцель [18], С.В. Емельянова [19], Н.Н. Моисеева [20], Г. Райфа [21] и мн. других [22-24]; в области ИИ появились оптимистические работы Г.С. Поспелова [25], Д.А. Поспелова [26, 27], вышел трёхтомный справочник по ИИ [28]. Именно эти и многие другие работы, часть из которых приведены в обзорах в работе [29],

формировали собственную онтологию проектных задач, личностное понимание процесса принятия решений в создании и модернизации артефактов. Важным и многообещающим событием в тот период явилось создание в 1992 году на основе Советской ассоциации ИИ Российской ассоциация ИИ (РАИИ).

В таблице 1 в хронологическом порядке сделана попытка кратко представить личностную предысторию онтологии проектирования, условно обозначенной периодом от В.Г. Маслова [4] до Т. Грубера [30].

Том Грубер⁴, часто цитируемый в среде онтологов и специалистов по ИИ автор, являет собой пример бережного обращения с терминами. Именно благодаря ему философский термин «онтология» приобрёл новое звучание в информационной среде, наполняемой компьютерами, программами, словарями, базами данных и знаний [31].



Том Грубер

Справедливости ради стоит заметить, что процесс формализации знаний шёл своим чередом и без использования термина «онтология» [4, 32-34], однако наполнение его содержанием шло неуклонно, и неизбежность его внедрения в научный оборот стала очевидной, особенно с появлением и активным использованием Интернета и разработки систем, основанных на знаниях. Если в 90-е годы прошедшего столетия Интернет «набирал обороты», накапливал оцифрованные данные, то начало третьего тысячелетия стало бурным его расцветом. Именно в эти годы появились и проявились: прагматика онтологий в информатике, языки и редакторы онтологий, ассоциация прикладных онтологов, с 2006 - ежегодные онтологические саммиты⁵, научные конференции и журналы, а также учебные дисциплины и учебники [35].

Важной частью любой дисциплины, любой Про и любой деятельности является используемый понятийно-терминологический аппарат. Переход с кафедры теории двигателей на кафедру конструкции и проектирования летательных аппаратов (ЛА) потребовал от автора этой статьи существенно пополнить свой словарный запас новой Про, что вылилось в написание соответствующего словаря [34].

Каждый учёный, исследователь, проектант в общедоступном пространстве научного знания имеет свой объём знаний, который он освоил, сделал своим. Какая-то часть нового знания, выработанного конкретным субъектом научного поиска, впоследствии, после её верификации, становится частью общего знания. Объём личностного знания условно можно представить тремя параметрами: временным интервалом, в котором творил и работал субъект

³ С 1977 по 1986 год автор работал на кафедре теории двигателей летательных аппаратов, а с 1986 года и по настоящее время работает на кафедре конструкции и проектирования ЛА Куйбышевского авиационного института им. С.П. Королева (ныне Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева).

⁴ *Tom Gruber* is a designer, entrepreneur, and AI thought leader who uses technology to augment human intelligence. He was co-founder, CTO and head of design for *Siri*, which created the first intelligent assistant for everyone. - <https://tomgruber.org/>.

⁵ В этом номере журнала представлен перевод Коммюнике очередного саммита, который был посвящён графам знаний.

ект науки; ПроО, в которых он внёс свой вклад; составом личностей и коллег, с кем работал и от кого получал свои знания субъект науки.

В данной обзорной статье, обобщающей личностный опыт и выработанные знания в области онтологии проектирования, используются понятия, трактовка которых автором, возможно, позволит лучше понять излагаемый материал.

Таблица 1 – Краткая личностная предыстория онтологии проектирования: от Маслова до Грубера

Дата	Участники	Содержание события
1977	Маслов В.Г. – идея Боргест Н.М. – методика	Разработка критерия энергопотребления ЛА и его силовой установки за весь жизненный цикл
1978	Маслов В.Г. – руководитель Боргест Н.М. – дипломник Кузьмичев В.С. – консультант	Защита дипломной работы по анализу влияния критериев эффективности ЛА на оптимальные параметры двигателя (диплом КуАИ с отличием)
1979	Маслов В.Г. – соискатель Григорьев В.А., Кузьмичев В.С., Боргест Н.М. – модели, расчёты	Защита докторской диссертации по теории выбора оптимальных параметров авиационных газотурбинных двигателей (ГТД)
1980	Маслов В.Г. – руководитель Кузьмичев В.С. – соискатель Коварцев А.Н. – программа, Боргест Н.М. – расчёты	Защита кандидатской диссертации по методу оптимизации параметров рабочего процесса турбореактивных двигателей дозвуковых самолетов
1980-1985	Маслов В.Г. – руководитель, Боргест Н.М., Иванов А.Б., Диденко А.А. и др. – исполнители Боргест Н.М. – аспирант	Разработка методов, моделей и программного комплекса оптимизации двигателей разных схем для многорежимных сверхзвуковых самолетов
1985	Маслов В.Г. – руководитель <i>Югов О.К.</i> (ЦИАМ) д.т.н., <i>Бакулев В.И.</i> (МАИ) д.т.н. – оппоненты Боргест Н.М. – соискатель	Защита кандидатской диссертации по оптимизации параметров двигателя для многорежимного самолета в условиях неопределённости (метод, математические модели, программный комплекс, исследования)
1985-1987	Маслов В.Г. – руководитель Боргест Н.М., Григорьев В.А., Иванов А.Б., Кузьмичев В.С., Ломакин В.Б. и др.	Сдача разработанной в КуАИ системы автоматизированного проектирования малоразмерных ГТД для многорежимных летательных аппаратов (ЦИАМ, Москва)
1988	Боргест Н.М. – соискатель	Московский авиационный институт (факультет повышения квалификации по специальности «Самолетостроение»). Знакомство с <i>О.С. Самойловичем</i> , а также с <i>Г.С. Поспеловым</i> , <i>Д.А. Поспеловым</i> . Разработка концепции экспертной системы проектирования самолета [32]
1989-1990	Боргест Н.М. – руководитель Иванов А.Б. – соисполнитель	Разработка и внедрение программы многокритериальной оптимизации для ОКБ О.К. Антонова (Киев) [33]
1990-1992	Боргест Н.М., Данилин А.И., Комаров В.А. – авторы	Подготовка и выпуск краткого словаря авиационных терминов в издательстве Московского авиационного института (Москва) [34]
1987-1992	Боргест Н.М.	Подготовка и выпуск плана-проспекта докторской диссертации по автоматизации предварительного проектирования самолета в формате учебного пособия [29]
1993	Том Грубер	Основоположник инженерной онтологии, известен по определению онтологии в контексте ИИ: «онтология - это явная спецификация концептуализации». - http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html

2 Личностное знание: разбор понятия

Мысль изречённая есть ложь
Федор Тютчев
We can know more than we can tell
Michael Polanyi
Любое обобщение – ущербно!
Автор

Что же такое личностное знание, опыт, в чём тонкости их трактовки? Традиционно считается, что между знанием и опытом много общего, они постоянно дополняются и совершенствуются. В упрощённой трактовке знания объективны, отделимы от носителя и требуют обоснования, опыт же субъективен, трудноотделим и не требует обоснования. М. Полани, афоризм которого приведён в эпиграфе, был предложен термин - неявное знание (англ. *tacit knowledge*) - вид знания, которое не может быть легко передано другим. Что касается опыта (опытного знания)⁶ как совокупности знаний и умений, приобретённых человеком в процессе взаимодействия с внешним миром и собственными переживаниями, то трактовки этого термина по мере накопления знаний эволюционировали у разных исследователей от Аристотеля, Канта, Гегеля и обобщающего их воззрения Маркса до Милля и Пирса.

Академик Д.В. Ушаков, директор Института психологии РАН, в недавнем интервью журналу «Коммерсантъ Наука»⁷, отметил, что «в науке огромную роль играет *личностное знание*». В современном технологическом мире поток информации колоссальный, и практически любую информацию можно получить в разных источниках, «... но гораздо важнее то, что не может быть эксплицитно сформулировано». Д.В. Ушаков отмечает, что каждый учёный имеет личностное отношение к научным понятиям, у него существует собственное понимание, своя «эмоциональная разметка научного пространства»: одно кажется важным, другое - не очень, что-то - устаревшим, что-то - рискованным... При этом личностное знание формируется самим индивидуумом из личного общения, в том числе с другими учёными, а возможность общения с крупными учёными в выбранной области – это «большой бонус», отмечает академик.

Научное знание не может быть полностью деперсонифицировано, поскольку несёт на себе отпечаток личности его создателя. Идея личностного знания влечёт значительные следствия в отношении проблемы каналов передачи научного опыта, поскольку этот вид знания плохо формализуемый. Такое знание передаётся скорее через общение людей, чем через формальное образование [36].

В современном мире с его развитыми информационными потоками всё менее дефицитным является отчуждаемое от создателя эксплицитное знание⁸, а наиболее узким местом оказывается передача компонентов, которые могут быть причислены к личностному знанию. По оценкам большинства опрошенных учёных наиболее значимым фактором, способствующим их научным достижениям, являются их старшие научные коллеги (научный руководитель, заведующий лабораторией и т.д.). Отсюда и вывод, противоречащий современной тенденции электронного образования, что трансляция личностного знания становится принципиально важным моментом в формировании продуктивного учёного [37].

М. Полани писал, что знание - это активное постижение познаваемых вещей, действие, требующее особого искусства. Акт познания осуществляется посредством упорядочения ря-

⁶ Опытное знание - https://ru.wikipedia.org/wiki/Опытное_знание.

⁷ Ушаков Дм. В научном управлении обществом произойдет переворот / Журнал «Коммерсантъ Наука» №24 от 30.09.2020, с.37. - <https://www.kommersant.ru/doc/4501983>.

⁸ Эксплицитное знание - совокупность формализованных знаний в изданиях разного рода. ИмPLICITные, личностные знания не выражаются в знаковой форме и представляют собой индивидуальный опыт конкретного человека.

да предметов и оформления их в искусный результат, теоретический или практический. Этим определяется личное участие познающего человека в актах понимания, но это не делает понимание *субъективным*. Такого рода знание на самом деле *объективно*, поскольку позволяет установить контакт со скрытой реальностью; контакт, определяемый как условие предвидения неопределённой области неизвестных подлинных сущностей. Термин «личностное знание» хорошо описывает своеобразный сплав личного и объективного. Личностное знание - это интеллектуальная самоотдача [36].

По мнению Д.В. Ушакова, *интеллект* – это способность к мышлению, а *мышление* – процесс, в котором реализуется интеллект. В паре терминов, где один выражает процесс, а другой – способность к нему, и где возникает необходимость определить один через другой, базовым должен быть термин, обозначающий процесс [38]. Д.В. Ушаков ввёл понятия текущего и кристаллизованного интеллекта. Текущий интеллект заключается в способности решать задачи, для которых в малой степени требуется предыдущий опыт, знания или навыки. К кристаллизованному интеллекту относится способность решать задачи, приобретённая на основе образования, опыта и доступа к информации. Текущий интеллект начинает снижаться ещё в молодом возрасте, в то время как кристаллизованный дольше растёт и остаётся неизменным. Что, видимо, и позволило автору этой статьи взять на себя труд и смелость поделиться своим опытом формирования научной дисциплины (кристаллизованного интеллекта автора), обозначенной как онтология проектирования.

Коэффициент наследуемости интеллекта растёт на протяжении жизни человека. Если наследуемость общего интеллекта в младенчестве оценивается примерно в 20 %, то в детстве она составляет около 40 % и достигает 60–80 % во взрослом возрасте⁹. Интеллект и креативность – это разные аспекты одного и того же процесса мышления. Между тем генетическая обусловленность интеллекта несравненно выше, чем креативности [38]. Роль наследуемости увеличивается в связи с тем, что индивид ищет и создаёт для себя среду, коррелирующую с его генетически определяемыми склонностями [39]. Чем старше человек, тем больше он формирует под себя среду. Такое опосредованное влияние увеличивается с возрастом – по мере возрастания свободы формирования среды.

С.Л. Рубинштейн определял мышление как опосредованное и обобщённое познание объективной реальности [40]. Мышление отражает бытие в его связях и отношениях, отражает его свойства и сущность, являясь фактически вершиной онтологического анализа ПрО.

Специфической компонентой мышления является понятие. Понятие - это опосредованное и обобщённое знание о предмете, основанное на раскрытии его существенных объективных связей и отношений, вскрывая которые понятие приобретает абстрактный характер. Содержание понятия трудно представить наглядно, но его можно мыслить или знать. Его объективное определение раскрывается опосредованно и выходит за пределы непосредственной наглядности. Формой существования понятия является слово [40].

Понятие связано с представлением единичного в общем, сущности в явлении, самого понятия в образе. Важное место в изучении понятий занимает метод определений. Можно относительно хорошо владеть понятием и испытывать затруднения при его словесном определении. С другой стороны, можно усвоить словесное определение понятия и, тем не менее, не уметь им оперировать (см. эпиграфы Ф. Тютчева и Майкла Полани).

Начальной фазой мыслительного процесса является осознание проблемной ситуации (ПрС), что нашло своё отражение в интересующей теории управления и эвергетике В.А. Виттиха [41, 42]. Осознание ПрС может начаться с чувства удивления, которое может

⁹ Возвращаясь к авторскому эпиграфу к этому разделу об ущербности любых обобщений, не работающих в конкретных случаях, стоит вспомнить ушедшего от нас в ноябре классика *Михаила Жванецкого*: «Мудрость не всегда приходит с возрастом. Бывает, что возраст приходит один». Так что в 20-40% случаях представленное обобщение не работает.

быть порождено неожиданной неудачей привычного действия или способа поведения. Затруднения в плане действия сигнализируют о ПрС, а удивление даёт почувствовать её. ПрС изображается как начало, как отправной пункт мышления. Сама постановка проблемы является актом мышления, который требует большой и сложной мыслительной работы. Сформулировать вопрос - значит подняться до известного понимания, а понять задачу или проблему - значит если не разрешить её, то, по крайней мере, найти метод для её решения. Если знание предполагает мышление, то и мышление уже в своём исходном пункте предполагает знание. Каждая решённая проблема поднимает целый ряд новых проблем; чем больше человек знает, тем лучше он знает, чего он не знает [40]. Здесь было бы уместно вспомнить и Сократа - автора этой крылатой мысли.

3 Интерсубъективность, личность и опыт «другого»

Понятия личностных истории, опыта и знания, по мнению автора, тесно связаны и входят в понятие интерсубъективности, о котором много в своё время писал В.А. Виттих, его ученики и последователи [41-43]. разработку самого понятия интерсубъективности связывают с именем немецкого философа Э. Гуссерля, и она трактуется как некая особая общность или определённая совокупность людей, обладающих общностью установок и воззрений; как некий обобщённый опыт представления предметов.

Гуссерль в V главе «Раскрытие сферы трансцендентального бытия как монадологической интерсубъективности» в своих «Картезианских размышлениях» [44] писал: «Конституирование миров какого бы то ни было вида, начиная с потока собственных переживаний с его открыто-бесконечными многообразиями, и вплоть до объективного мира с его различными уровнями объективации, подчинено закономерностям ориентированной конституции. ... мир культуры дан как ориентированный по отношению к некому нулевому звену, т.е. к некой личности. Здесь Я и моя культура являются первопорядковыми по отношению к любой другой культуре. Последняя доступна для меня и для моих братьев по культуре лишь посредством своеобразного опыта «другого», своего рода вчувствования в чуждое для меня культурное человеческое сообщество и в его культуру».

В.А. Виттих, следуя введённому Э. Гуссерлем понятию интерсубъективности, писал: «...люди, осознающие себя в общей для них ситуации, могут достигнуть договорённости о признании некоторого субъективного знания истинным только для их узкого круга лиц, для решения своих практических задач... Участники ситуации совместно приобретают интерсубъективные знания» [43].

Во вступительной статье «Смена методологических парадигм» к книге немецкого философа К. Хюбнера «Критика научного разума» [45] академик В.С. Стёпин писал, что принятые в книге подходы близки с трудом И. Канта «Критика чистого разума». Идея анализа предпосылок и условий познания, восходящая к И. Канту, предполагает выявление структур, которые определяют границы и возможности научного познания. Принципы, выступавшие на определённом этапе развития науки в качестве фундаментальных основоположений, в новой ситуации также могут пересматриваться. Основанием для такого пересмотра К. Хюбнер полагает не рассогласование между отдельно взятой теорией и фактами, а рассогласование внутри системного ансамбля научного знания. Категория системного ансамбля в концепции К. Хюбнера является ключевым понятием. Он применяет его как при анализе науки, так и в более широком смысле — при рассмотрении социальной среды, в которую погружена наука и в которой она развивается. К. Хюбнер смог показать неразрывную связь естествознания с объектами искусства и нуминозным опытом: «...мы в ещё большей степени включены в мир физики и техники, который, с одной стороны, поражает наше воображение, а с другой — всё

сильнее отчуждает от нуминозного опыта и опыта искусства. И всё же многообразие свежих идей, иные новые подходы заставляют нас двигаться вперёд» [45].

Согласно трансцендентальной философии и операционализму субъект сам производит свой объект. В обоих случаях это означает, что нечто дано нам не через опыт, а уже содержится в нас самих. Для Канта физика есть единственно возможный способ подлинного конструирования объекта; для операционализма, напротив, физика базируется на некотором частном решении. Следовательно, с точки зрения трансцендентальной философии, история становления физики предстаёт как процесс, в ходе которого разум впервые приходит к истинному пониманию способов конституирования объектов. С точки зрения операционализма основанием физики является акт воли, воли к покорению природы [45].

В работе [46] К. Хюбнер отмечает, что наше сознание в значительной степени сформировано научной онтологией. Психологическая онтология, с одной стороны, аналогична онтологии естественных наук в том смысле, что она принимает во внимание разграничения идеального и материального, понятия и предмета. С другой стороны, психологическая онтология отличается от естественно-научной онтологии; её предметы в целом не существуют вне связей как таковых и отношения первичны по отношению к предметам.

Рациональность К. Хюбнер рассматривает как эмпирическую, семантическую, логическую, операциональную и нормативную интерсубъективность в науке и мифе, делая вывод о том, что онтологические и нормативные предпосылки, на которых основываются соответственно наука и миф, не иррациональны, поскольку именно из них исходит всё рациональное, характеризующее опыт, семантику, операциональную деятельность и нормотворчество [46]. Базируясь на рациональности К. Хюбнера, в работе [43] предлагается включать в структуру интерсубъективной теории пять типов интерсубъективности: семантическую, логическую, операциональную, эмпирическую и нормативную. При этом в работе [41] обосновывается необходимость использования для построения интерсубъективных теорий пяти онтологий: корпоративной культуры, принятия решений, деятельности, фактов и нормативно-правовой онтологии.

По инженерному упрощая сказанное и образно визуализируя его, опираясь на рекомендации, данные в работе [47], на рисунке 1 представлено соотношение рассмотренных основных понятий. Здесь объединение знаний индивидуумов в интерсубъективное знание с математической точки зрения стоит рассматривать лишь как пересечение множеств частных знаний, т.е. тех консенсусных знаний, на которые согласилось большинство участников ПрС или ПрО.

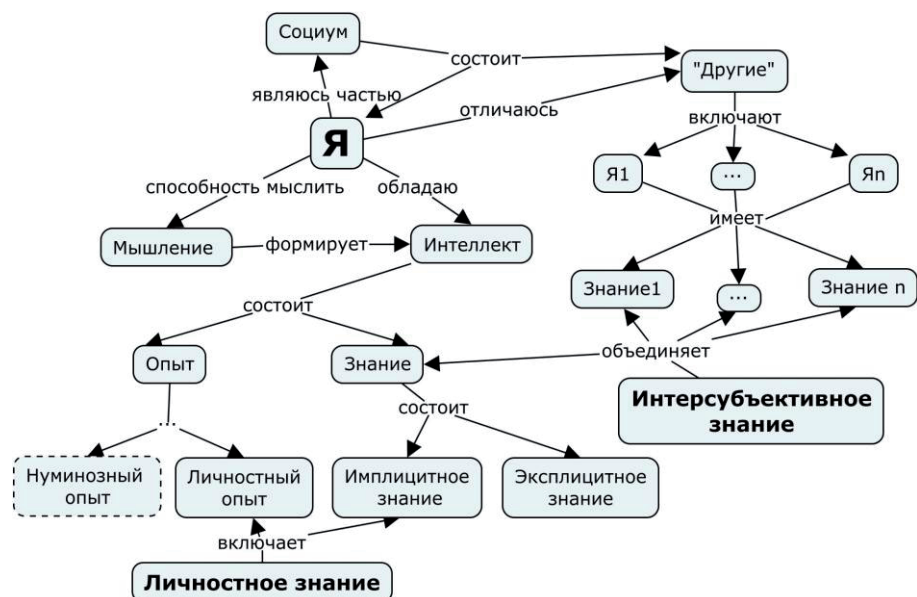


Рисунок 1 – Обобщённое (упрощённое) соотношение и связь понятий

Как и всё в этой жизни, консенсус, его объём не постоянны и зависят от времени. Как, впрочем, и само знание субъекта - тоже величина не постоянная и меняется во времени. Оно может не только наращиваться, но и теряться со временем¹⁰.

На рисунке 2 сделана попытка представить в утилитарном виде структуру информационного потока, в котором присутствует и является актором субъект, вбирающий и производящий часть этого потока, генерируемого «другими» акторами.

4 Онтологии в личной истории

Международная ассоциация по онтологиям и её приложениям (*IAOA*)¹¹, членом которой автор является с 2011 года, создана в 2009 году в Тренто (Италия) на базе Лаборатории прикладной онтологии. Предыстория этой ассоциации началась ещё в 1993 году с проведения Первого международного семинара по формальной онтологии и информационным системам (*Formal Ontology & Information Systems, FOIS*). 1-я конференция *FOIS* прошла в 1998 году, а Онтологический форум состоялся в 2002. Важными событиями в среде онтологов были: создание в 2005 году своего журнала «Прикладная онтология» (*Applied Ontology*¹², *IOS Press*), создание Национального центра онтологических исследований¹³ (*NCOR*) в Буффало (США) в 2005 году и Европейского центра онтологических исследований¹⁴ (*ECOR*) на базе Саарландского университета в Саарбрюккене (Германия) в 2004 году. Публичное обсуждение создания ассоциации онтологов проходило на *FOIS* в Балтиморе (США) в 2006 году и Саарбрюккене (Германия) в 2008 году. Официальное учреждение *IAOA* состоялось в Тренто, Италия, 29 апреля 2009 г.

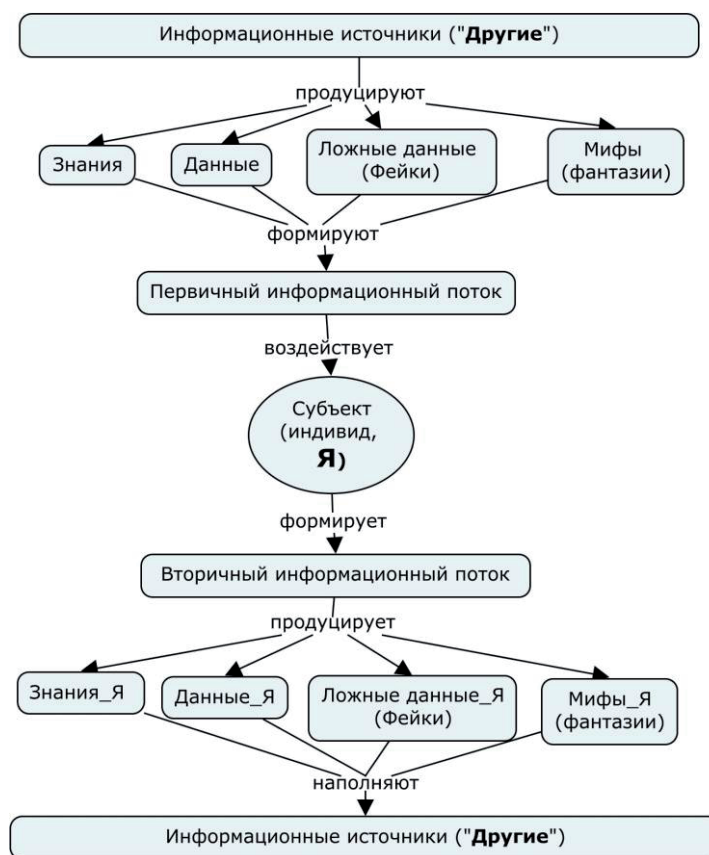


Рисунок 2 – Структура информационных потоков в информационном поле субъектов

Онтологии, как новое понятие в информатике и как инструмент моделирования знаний о ПрО, в Самарском университете (в то время Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика

¹⁰ В России дипломы ВУЗов могут получить «срок годности». Спецпредставитель президента РФ по вопросам цифрового и технологического развития *Дмитрий Песков* назвал абсурдной практику выдачи дипломов «на всю жизнь», так как нельзя гарантировать, что полученные знания сохранятся и будут актуальны. 7 ноября 2020. ТАСС. - https://tass.ru/turbopages.org/tass.ru/s/obschestvo/9938513?utm_source=yxnews&utm_medium=mobile&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fstory%2FV_Rossii_diplomy_vuzov_mogut_poluchit_srok_godnosti--87883c77f4a34ce72c0532e5174572a6.

¹¹ *The International Association for Ontology and its Applications (IAOA)* - <https://iaoa.org/index.php/history-of-iaoa/>.

¹² *An Interdisciplinary Journal of Ontological Analysis and Conceptual Modeling* - <https://www.iospress.nl/journal/applied-ontology/>.

¹³ *The National Center for Ontological Research (NCOR)* - <https://ubwp.buffalo.edu/ncor/>.

¹⁴ *The European Centre for Ontological Research (ECOR)* - <http://www.ecor.uni-saarland.de/home.html>.

С.П. Королёва, СГАУ) берут начало с освоения конструктора онтологии компании *MagentA* для решения проектных задач¹⁵. Один из разработчиков учебного плана для новой в то время инженерной специальности «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции» и соавтор популярной монографии «Управление жизненным циклом продукции» [48] *А.Ф. Колчин* включил в учебный план новую для России дисциплину «Онтология производственной сферы». В 2006-2007 учебном году в СГАУ на базе освоенного инструмента конструктора онтологий *MagentA* были подготовлены учебно-методические материалы¹⁶ (учебное пособие и методические указания к лабораторным работам), которые были изданы в 2008-2009 годах и использовались в учебном процессе, начиная с 2008 года. В качестве Про рассматривалась проектная деятельность, характерная для кафедры конструкции и проектирования ЛА, а также мультиагентная парадигма изучаемых процессов, которая наиболее ярко проявилась в задачах моделирования логистики воздушных перевозок. В 2014 году курс «Онтология производственной сферы» был дополнен учебным пособием и методическими указаниями к лабораторным работам¹⁷ в области управления современным машиностроительным предприятием на основе новых интеллектуальных технологий. В пособии описаны наиболее распространенные стандарты онтологического моделирования, дан краткий обзор средств создания и поддержки онтологий. Эти работы получили высокую оценку разработчиков новой специальности и послужили основой для дальнейшего развития онтологического «мэйнстрима» в образовательной среде.

Так, в 2010 году впервые был разработан учебно-методический комплекс по дисциплине «Онтология проектирования» для магистерской программы «Проектирование, конструкция и СALS-технологии в авиационной технике» по направлению «Авиастроение». Этот комплекс размещён в репозитории Самарского университета и включает: одноимённое учебное пособие, методические указания к лабораторным работам, подборку актуальных на тот период научных статей и список рекомендуемых источников. Указанный комплекс разработан на двух языках - русском¹⁸ и английском¹⁹, что позволило использовать его иностранным сту-

¹⁵ Урсул, А.А. Применение мультиагентной системы компании *MagentA* в задачах выбора параметров ЛА и транспортной логистики. Дипломный проект. Рук. Н.М. Боргест. Кафедра КиПЛА. СГАУ. 2007. – 133 с.

¹⁶ Боргест, Н.М. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию: учеб. пособие / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2009. - 76 с. - ISBN 978-5-7883-0690-2.

- Использование онтологии при выборе самолета под заданное техническое задание: метод. указания к лаб. работе № 1 / Сост. Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2008. - 55 с.
- Использование онтологии при выборе удельной нагрузки на крыло: метод. указания к лаб. работе №2 / Сост. Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2008. - 37 с.
- Использование онтологии при выборе потребной тяговооружённости самолета: метод. указания к лаб. работе №3 / Сост. Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2008. - 35 с.
- Использование онтологии при выборе двигателя для проектируемого самолета: метод. указания к лаб. работе № 4 / Сост. Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2008. – 36 с.
- Логистика воздушного флота: метод. указания к лаб. работе №5 / Сост. Н.М. Боргест, Е.В. Симонова. - Самара: Изд-во СГАУ, 2008. - 50 с.

¹⁷ Боргест, Н.М. Онтологии: современное состояние, стандарты, средства поддержки: учеб. пособие / сост. Н.М. Боргест, М.Д. Коровин. СГАУ – Самара, 2014. – 128 с.

- Управление современным машиностроительным предприятием на основе новых интеллектуальных технологий: методические указания к лаб. работам / сост. Н.М. Боргест, М.Д. Коровин. СГАУ – Самара, 2014. – 44 с.

¹⁸ Онтология проектирования. Теоретические основы. Ч.1: Понятия и принципы: учеб. пособие [электрон.] / Н.М. Боргест. Самара: СГАУ им. С.П. Королева. 2010. - 92 с. - <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Ontologiya-proektirovaniya-Teoreticheskie-osnovy-elektron-ucheb-posobie-Ch-1-Ponyatiya-i-principy-55235?mode=full>.

- Решение проектных задач с помощью онтологических систем: методическое пособие к лабораторным работам [электрон.] / Н.М. Боргест, Е.В. Симонова, Д.В. Шустова. Самара: СГАУ им. С.П. Королева. 2010. - 128 с. - <http://repo.ssau.ru/handle/Metodicheskie-ukazaniya/Reshenie-proektnyh-zadach-s-pomoshu-ontologicheskikh-sistem-Elektronnyi-resurs-elektron-metod-ukazaniya-k-lab-rabotam-53103?mode=full>.
- Антология онтологии: подборка статей [электрон.] / Н.М. Боргест. Самара: СГАУ им. С.П. Королева. 2010. - 88 с. - <http://repo.ssau.ru/handle/Metodicheskie-ukazaniya/Antologiya-ontologii-Elektronnyi-resurs-elektron-podborka-nauch-st-53335>.

дентам, обучающимся в СГАУ. Уже в 2014 году учебное пособие по этой дисциплине было переиздано в печатном виде [49]. Оно было существенно дополнено материалами из нового научного журнала «Онтология проектирования» и предназначалось как для магистрантов, так и аспирантов, для которых впоследствии эта дисциплина была введена в Самарском университете как дисциплина, изучаемая по выбору студентов. Это позволило в дальнейшем издать подготовленный материал в виде монографий [50, 51].

Отрадно отметить, что на Вики-сайте²⁰ Комитета по образованию Международной ассоциации по онтологиям и её приложениям, работающего над продвижением образования в области прикладной онтологии, размещены как рекомендуемые разработанные и используемые в СГАУ пособие и методические указания по дисциплине «Онтология проектирования»:

Borgest N.M. Ontology of Designing. Part 1: Concepts and Principles: Electronic Textbook /Samara State Aerospace University. - Samara, 2011. – 77 pp.

Borgest, N.M., Simonova E.V., Shustova D.V. Design Problem Solving Using Ontological Systems: Electronic Laboratory Guideline / Samara State Aerospace University; Compilers - Samara, 2011. – 117 pp.

The guidelines for laboratory works on the subject "Ontology of Designing" are a part of postgraduate programmes which were developed based on using new educational technologies, resources and distance-learning systems for the Masters programme «Designing, construction and CALS-technologies in Aeronautical Engineering» for education direction 160100.68 «Aeronautical Engineering». Prepared by the Department of Aeronautical Engineering SSAU.

Изучая дисциплину «Онтология проектирования», студенты и аспиранты под руководством автора этой статьи подготовили ряд публикаций в научно-информационном межвузовском журнале «Аспирантский вестник Поволжья»²¹, в которых молодые учёные, осваивая азы дисциплины, применяли онтологические приёмы в различных Про.

- Истоки и источники онтологии проектирования: список рекомендуемой литературы и Интернет-ресурсов [электрон.] / Н.М. Боргест. Самара: СГАУ им. С.П. Королева. 2010. - 88 с. - <http://repo.ssau.ru/handle/Methodicheskie-ukazaniya/Istoki-i-istochniki-ontologii-proektirovaniya-Elektronnyi-resurs-elektron-spisok-rekomenduemyi-lit-i-internetresurov-53578>.

¹⁹ *Ontology of Designing* : electronic textbook, Pt. 1: Concepts and Principles [электрон.] / N.M. Borgest, D.N. Borgest. Samara State Aerospace University (National Research University). 2011. 78 p. - <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Ontology-of-Designing-electronic-textbook-Pt-1-Concerpts-and-Principles-Ontology-of-Designing-electronic-textbook-54183>.

- Design Problem Solving Using Ontological Systems: electronic laboratory guideline [электрон.] / N.M. Borgest, E.V.Simonova? D.V.Shustova, D.N. Borgest. Samara State Aerospace University (National Research University). 2011. 116 p. - <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Design-Problem-Solving-Using-Ontological-Systems-Elektronnyi-resurs-electronic-laboratory-guideline-54965>.
- Anthology of Ontology: selected scientific papers [электрон.] / N.M. Borgest, D.N. Borgest. Samara State Aerospace University (National Research University). 2011. 88 p. - <http://repo.ssau.ru/handle/Methodicheskie-ukazaniya/Anthology-of-Ontology-Elektronnyi-resurs-selected-scientific-papers-53073>.
- Origins and Sources of Ontology of Designing: Recommended source [электрон.] / N.M. Borgest, D.N. Borgest. Samara State Aerospace University (National Research University). 2011. 78 p. - <http://repo.ssau.ru/handle/Methodicheskie-ukazaniya/Origins-and-Sources-of-Ontology-of-Designing-Elektronnyi-resurs-Recommended-source-53635>.

²⁰ Репозиторий Комитета по образованию *IAOA*, содержащий информацию о курсах, учебных материалах, книгах и других соответствующих материалах. - <https://wiki.iaoa.org/index.php/Edu:Books>.

²¹ *Шустова Д.В.* Разработка тезауруса прикладной онтологии / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №1-2, 2010 с.108-110.

- *Шустова Д.В.* Философские аспекты онтологии проектирования / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №3, 2011. с.80-85.
- *Шустова Д.В.* Базовые принципы онтологии проектирования / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №7-8, 2011. с.73-76.
- *Стешин П.П.* Философские аспекты значения интеграции для автоматизации процессов проектирования / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №5-6, 2012. с.90-95.
- *Коровин М.Д.* Базовая онтология предприятия / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №7-8, 2012. с.70-73.
- *Коровин М.Д.* Язык проектанта в интерфейсе информационных систем / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №7-8, 2013. С.51-54.
- *Шустова Д.В.* Онтология инженерной деятельности – семантическая основа разрабатываемых информационных систем / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №7-8, 2013. с.84-88.
- *Ильина Е.В.* Толковый словарь проектанта / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №3-4, 2014. с.16-19.

Под руководством и с участием автора студенты, аспиранты и молодые исследователи, разрабатывая научное направление онтологии проектирования, активно выступали на международных и всероссийских научных конференциях, таких как:

- «Королёвские чтения»²², проводимые в Самаре в СГАУ;
- ITIDS (International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support)²³ и ITIMP (Intelligent Technologies for Information Processing and Management)²⁴, проводимые в УГАТУ в Уфе;
- OSTIS (Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем)²⁵, проводимые в БГУИР в Минске;

▪ *Коровин М.Д.* Диалектический подход к обработке неструктурированной информации / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №3-4, 2014. с.20-23.

▪ *Шустова Д.В.* Семантический подход при создании тезауруса для решения задач в предметной области / науч.рук. Н.М. Боргест // Аспирантский вестник Поволжья, №3-4, 2014. с.58-59.

²² Королёвские чтения. Международная молодежная конференция, посвящённая 50-летию первого полёта человека в космос, Самара, 4-6 октября 2011 года: Тезисы докладов. Самара: Изд-во ООО «БМВ и К», 2011, 403 с.

▪ *Шустова Д.В., Никитин И.А., Алтынбаев Р.К.* Модель интеллектуального интерфейса робота-проектанта самолётов / науч.рук. Н.М. Боргест // – с.127.

XII Королёвские чтения. Международная молодежная научная конференция, Самара, 1-3 октября 2013 года: Тезисы докладов. Самара: Изд-во СГАУ, 2013:

▪ *Коровин М.Д.* Проблемы оценки проектной надёжности автоматизированных систем / науч.рук. Н.М. Боргест // Том 1.– с.109-110.

▪ *Коровин М.Д., Степанов А.В., Шустова Д.В.* Учебный курс мультиагентной системы планирования на машиностроительном предприятии / науч.рук. Н.М. Боргест // Том 2.– с.202.

▪ *Одинцова С.А.* Разработка тезауруса робота-проектанта / науч.рук. Н.М. Боргест // Том 2.– с.217.

▪ *Коровин М.Д.* Онторедакторы: развитие, стандарты, применение / науч.рук. Н.М. Боргест // Том 2.– с. 201.

²³ ITIDS+MAAO'2013. The Proceedings of the International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Russian-German Workshop "Models and Algorithms of Applied Optimization", May 21-25, Ufa, Russia, 2013.

▪ *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Модели данных и их связь с интерфейсом в автоматизированных системах на основе онтологий. Volume 1. ISBN 987-5-4221-0428-4. с.50-53.

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Применение семантического подхода на основе онтологий при создании автоматизированных систем. Volume 1. ISBN 987-5-4221-0428-4. с.62-65.

▪ *Канчер Г.С., Сергеева Т.С., Боргест Н.М.* Формализация проектных процедур на основе анализа данных прототипов. Volume 2. ISBN 987-5-4221-0428-4. с.14-17.

ITIDS+RRS'2014. Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop on "Robots and Robotic Systems" May 18-21, Ufa, Russia, 2014.

▪ *Боргест Н.М., Келдибаев Б.К.* Автоматизация документооборота при издании научного журнала «Онтология проектирования». Volume 2. ISBN 987-5-4221-0582-3. с.9-13.

▪ *Токарев С.В., Калмычков Я.М., Боргест Н.М.* Управление требованиями к сложному изделию на протяжении жизненного цикла: мультиагентный подход. Volume 3. ISBN 987-5-4221-0583-0 с. 5-7.

ITIDS'2015. Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" May 18-21, Ufa, Russia, 2015. ISBN 987-5-4221-0723-0 ISBN 987-5-4221-0724-7

▪ *Orlova A.A., Mendez M.A.S., Borgest N.M.* Comparison of the functionality of the ontology editors Fluent Editor 2014 and Protégé to visualize the classification of small-sized gas turbine engines. Volume 1. с.7-12.

▪ *Брагина Н.И., Боргест Н.М.* Совместимость языка Simplified Technical English с редактором онтологий Fluent Editor. Volume 2. с.31-33.

▪ *Боргест Н.М., Анисимов А.С.* Применение мультиагентных технологий для определения остаточного ресурса шасси самолета. Volume 2. с.107-111.

▪ *Абрамян Т.С., Коровин М.Д., Боргест Н.М.* Разработка онтологической модели оценки остаточного ресурса агрегатов авиационной техники. Volume 2. с.116-119.

ITIDS'2016. Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" May 17-19, Ufa, Russia, 2016 Volume 1. ISBN 987-5-4221-0887-9 С.1-5.

▪ *Боргест Н.М., Орлова А.А.* Разработка руководств по эксплуатации с помощью онтологий.

²⁴ ITIMP'2014. Proceedings of the 2nd International Conference on "Intelligent Technologies for Information Processing and Management" November 10-12, Ufa, Russia, 2014.

▪ *Чивилев М.В., Боргест Н.М.* Разработка параметрической 3D модели самолёта на этапе технических предложений для проведения физических экспериментов в аэродинамической трубе. Volume 1. ISBN 987-5-4221-0656-1. С.102-105.

▪ *Дмитриев Д.Н., Громов Ан.А.* Автоматизация аэродинамической оценки самолёта на этапе технических предложений на основе разрабатываемой параметрической 3D модели. Volume 1. ISBN 987-5-4221-0656-1. С.94-97.

▪ *Громов Ал.А., Киреев М.С.* Автоматизация прочностного конечно-элементного анализа самолёта на этапе технических предложений на основе разрабатываемой параметрической 3D модели. Volume 1. ISBN 987-5-4221-0656-1. С.98-101.

- ИТиС (Информационные технологии и системы), проводимые ЧелГУ в Банном²⁶;
- «Применение ИПИ – технологий в производстве», проводимые в МАТИ²⁷;

²⁵ OSTIS-2012, Минск: БГУИР, 2013.

- *Боргест Н.М., Шустова Д.В., Чернов Р.В.* Разработка интерфейса интеллектуального помощника проектианта. с.335-338.

OSTIS-2013, Минск: БГУИР, 2013. -592 с.

- *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Подходы к интеграции программных систем в интеллектуальном помощнике проектианта. с.445-448.
- *Боргест Н.М., Шустова Д.В., Одицова С.А., Князихина Ю.Е.* Проблемы синонимов в тезаурусе интеллектуального помощника проектианта. с.449-452.
- *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Требования к конструктору онтологий для машиностроения. с.441-444.

OSTIS-2014, Минск: БГУИР, 2014. -576 с.

- *Боргест Н.М., Абрамов Г.А., Коровин М.Д.* Потребность в речевых функциях интеллектуальных САПР. с.527-530.
- *Боргест Н.М., Лысаковский И.А.* Реализация онтологической мультиагентности предметной области средствами реляционной СУБД на примере зачисления абитуриентов в университеты России. с.531-536.

OSTIS-2015, Минск: БГУИР, 2015. -615 с.

- *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Спирина М.О.* Организация связи параметризованных трёхмерных инженерных моделей и внешних баз данных. с.421-424.
- *Боргест Н.М., Власов С.А., Коровин М.Д.* Реализация удалённого управления параметризованной трёхмерной моделью самолета с помощью клиент-серверного приложения. с.417-420.

OSTIS-2016, Минск: БГУИР, 2016. -596 с.

- *Боргест Н.М., Орлова А.А.* Семантический анализ текстовой части руководства пользователя по сборке двигателя с помощью онторедатора FLUENT EDITOR. с.421-426.

OSTIS-2017, Минск: БГУИР, 2017. -444 с.

- *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Разработка семантических основ информационных систем при проектировании и производстве машиностроительных изделий. с.293-296.

OSTIS-2018, Минск: БГУИР, 2018.

- *Khavier Flores, Oseni Kamil, Borgest N.M.* Using ontologies for data processing scenarios in aircraft designing // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems 2018. Vol. 2. № 8. P. 277-283.

OSTIS-2019, Минск: БГУИР, 2019.

- *Malochkina A.V., Borgest N.M.* Ontological approach to the automated design of complex systems using aircraft as an example // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems 2019. Issue 3. P. 165-168.

OSTIS-2020, Минск: БГУИР, 2020.

- *Vlasov S.A., Borgest N.M.* Application of virtual reality technology based on ontology in education of aviation // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. 2020. Issue 4. P. 263-266.

²⁶ ИТиС – 2013, Банное, Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та.

- *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Шустова Д.В.* Конструкторы онтологий: прикладной и функциональный анализ // Труды II-й научной международной научной конференции. С.80-82.
- *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Концепция базовой онтологии машиностроения // Труды II-й научной международной научной конференции. С.151-153.

ИТиС - 2014, Банное, Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та.

- *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Кукуев Ф.Ю.* Интерактивный монитор работа-проектанта // Труды III-й научной международной научной конференции. С.128-130.
- *Боргест Н.М.* Введение в онтологию проектирования // Труды III-й научной международной научной конференции. С.61-63.

ИТиС - 2015, Банное, Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та.

- *Боргест Н.М., Громов Ан.А.* Применение работа-проектанта в концептуальном проектировании самолёта // Труды IV-й научной международной научной конференции. С.70-73.

ИТиС - 2016, Банное, Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та.

- *Боргест Н.М., Громов Ан.А.* Применение работа-проектанта в концептуальном проектировании самолёта // Труды IV-й научной международной научной конференции. С.70-73.

ИТиС - 2017, Банное, Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та.

- *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Применение суррогатных моделей в системе поддержки проектирования на примере демонстрационного образца «Робот-проектант самолёта». С.141-143.

²⁷ «Применение ИПИ – технологий в производстве». Труды Всероссийской научно-практической конференции. М., МАТИ.

- *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Применение онтологических систем в подготовке специалистов аэрокосмической отрасли. 2010, с.74-75.
- *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Онтология самолета в системе Protégé. 2010, с.75-76.
- *Боргест Н.М., Одицова Л.В., Коровин М.Д.* Проблемы оценки проектной надежности автоматизированных систем. 2012, с.108-109.
- *Боргест Н.М., Кременецкая М.Е., Кишов Е.А.* Тенденции развития систем стратегического планирования машиностроительного производства. 2012, с.110-112.

- «Авиация и космонавтика – 2010», проходившая в МАИ²⁸;
- SASM'2011, проходившая в Казани²⁹;
- «Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения», проходившая в Казани³⁰;
- «Системный анализ, управление и навигация», проводимые в Евпатории³¹;
- «Interactive Systems», проводимые в Ульяновске³²;
- Конференция по искусственному интеллекту, проходившая в Белгороде³³;
- «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы», проходившие в Кацивели³⁴;
- «Интеллектуальный анализ информации», проводимые в Киеве³⁵;
- «Информационные и математические технологии в науке и управлении», проводимые на Байкале³⁶;

²⁸ "Авиация и космонавтика - 2010". Сборник тезисов докладов 9-й Международной конференции. – М., МАИ, 2010.

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Концептуальное проектирование самолета - онтологический подход. с.32-33.

²⁹ «Системный анализ и семиотическое моделирование (SASM'2011)». Сб. трудов 1-й Российской конференции с международным участием. Казань, 2011.

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Разработка информационного тезауруса в редакторе Protégé для проектирования самолета. с.74-77.

³⁰ Труды V Международной научно-практической конференции «Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения». Казань, 2010.

▪ *Боргест Н.М., Конькова Е.В., Субботина Т.И., Шустова Д.В.* Использование PDM систем Smarteam и Windchill в конструкторском и технологическом отделах аэрокосмического предприятия. с.50-57.

³¹ Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов 16-й международной научной конференции. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. – 180 с.

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Роботизация проектной деятельности. с. 93-94.

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Реализация диалога между роботом-конструктором и проектантом на основе тезауруса. с. 91-92.

³² Interactive Systems: the Problems of Human-Computer Interaction. – Collection of scientific papers. – Ulyanovsk: UISTU.

▪ *Borgest N.M., Shustova D.V.* Realization of speech technologies in the robot-designer of planes, 2011, p.135-137.

▪ *Borgest N.M., Korovin M.D.* Creation of the interface for an automated airplane Preliminary Designing system, 2015, p.131-134.

³³ 13-я национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2012 (16-20.10.2012, г. Белгород, Россия): Труды конференции. Т.3. – Белгород: изд-во БГТУ, 2012. – 309 с.

▪ *Боргест Н.М., Гиматдинова С.Р., Шустова Д.В.* Принципы создания тезауруса «проектирование самолета» с использованием редактора Protégé. с.186-193.

³⁴ Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы: материалы Международной научно-технической конференции (пос. Кацивели, АР Крым) Донецк: ИПШ «Наука і освіта».

▪ *Боргест Н.М., Гиматдинова С.Р.* Анализ систем планирования производственных цехов машиностроительного производства и тенденций их развития. 2012. С. 293-295.

▪ *Боргест Н.М., Кристалович И.В., Куликов П.С.* Автоматизация зачисления в вуз: мультиагентный подход. 2012. С.292.

▪ *Боргест Н.М., Коровин М.Д.* Онтологии и их жизненный цикл. 2013, с.262-264.

³⁵ Интеллектуальный анализ информации, международная научная конференция имени Т.А. Таран, Киев, Просвіта.

▪ *Боргест Н.М., Канчер Г.С.* Синтез проектных данных из баз данных прототипов. ИАИ-2013, с.4-8.

▪ *Боргест Н.М., Сергеева Т.С.* Анализ параметров объектов и систем при наполнении баз данных прототипов. ИАИ-2013, с. 9-13.

▪ *Боргест Н.М., Бурдюгова В.В.* Разработка онтологии документооборота выполнения заказа на предприятии. ИАИ-2014, с. 49-53.

▪ *Боргест Н.М., Сокова Н.А.* Разработка онтологии нештатных ситуаций на космической станции. ИАИ-2014, с. 54-57.

▪ *Боргест Н.М., Брагина Н.И.* Опыт применения языка Simplified Technical English в редакторе онтологий Fluent Editor. ИАИ-2015, с. 18-23.

▪ *Боргест Н.М., Анисимов А.С.* Подход к разработке онтологической модели остаточного ресурса шасси самолета. ИАИ-2015, с.24-30.

▪ *Боргест Н.М., Орлова А.А.* Онтологическое моделирование подготовки руководств по лётной эксплуатации. ИАИ-2016, с. 11-15.

³⁶ Труды Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН.

▪ *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Степанов А.В.* Разработка учебного курса по управлению машиностроительным предприятием на основе новых интеллектуальных технологий. Том 2, 2013. с. 47-52.

- ПУМСС (Проблемы управления и моделирования в сложных системах), проводимой в Самаре³⁷;
- «Робототехника и искусственный интеллект», проводимые в Железногорске³⁸;
- «Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine», проводимые в Томске;
- «Advances in Intelligent Systems and Computing», проводимые в Польше и Украине³⁹.

Конференции как публичный способ апробирования научных достижений очень важны. Тем не менее, рецензируемые научные журналы, верифицирующие научный результат «в тиши и не на лету», остаются значимыми и даже приоритетным «общим местом», формирующим знания в ПрО. Первоначально разрозненные статьи, как листки (*papers*) на древе познания, впоследствии синтезируют структуру, позволяющую взрастить новую ветвь, где по крупницам собранные в журналах знания формируют ключевые понятия и термины, контуры новой научной дисциплины, её научный базис, структуру и пути дальнейшего развития.

5 Роль журнала в формировании научной дисциплины

Кто на Западе не издан, тот для наших снобов ноль...
Андрей Дементьев, поэт (2003)

Научный журнал - периодическое издание, являющееся фиксатором новых знаний, источником научной информации и средством научной коммуникации.

Есть мнение, что научный журнал – некоммерческий продукт. Он, как и знания, которые в нём аккумулируются, не должен быть товаром. Однако в капиталистическом обществе в основу жизнедеятельности положены товарно-денежные отношения, где продаётся и покупается всё. На этом выстроены все механизмы от патентования и публикации до трансляции знаний и передачи информации в любой форме.

Онтология проектирования в действующих научных журналах рассматривалась в работе [52]. Но справедливости ради стоит вспомнить и журнал о философии проектирования (*Design Philosophy Papers*), который выходил с 2003 по 2010 годы и архив его статей ещё можно найти по ссылке⁴⁰.

Анн-Мари Уиллис долгие годы возглавляла этот журнал и её статья об онтологическом проектировании - важный вклад в онтологию проектирования [53]. Её трактовка проекти-

-
- *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Шустова Д.В.* Конструкторы онтологий: обзор, прикладные задачи и учебные примеры. Том 3, 2013. с. 13-19.
 - *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Абрамов Г.А., Кукуев Ф.Ю.* Интерфейс информационной системы проектировщика: современное состояние и перспективы. Том 3, 2014. с.191-196.
 - *Боргест Н.М., Давыдкин М.В.* Информационная поддержка сборки элементов космического аппарата. Том 3, 2014. с.185-191.
 - *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Применение методики построения семантической основы информационной системы при создании системы производственного планирования. Часть 3. 2015. с.174-180.

³⁷ Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XX Международной конференции, 2018.

▪ *Гусейнов Ж.С., Боргест Н.М.* Совершенствование информационного взаимодействия акторов при подготовке конструкторской документации на авиационном предприятии. С. 338-343.

³⁸ Робототехника и искусственный интеллект: материалы III Международной научно-практической конф. (г. Железногорск).- Красноярск: Центр информации,

▪ *Боргест Н.М., Шустова Д.В.* Робот-конструктор самолетов – интеллектуальный помощник проектанта. 2012. с.2.

▪ *Боргест Н.М., Дмитриев Д.Н., Киреев М.С., Чивилев М.В.* Робот-проектант как помощник в освоении концептуального проектирования самолета. 2014. с. 62-67.

³⁹ *Advances in Intelligent Systems and Computing.*

▪ *N. Borgest, M. Korovin, Al. Gromov.* The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design. 2015. P.147-156. DOI 10.1007/978-3-319-15147-2.

⁴⁰ Архив *Design Philosophy Papers* - <https://web.archive.org/web/20110410001953/http://www.desphilosophy.com/dpp/home.html>.

рования, как решение проблем, происходит от Герберта Саймона⁴¹, который полагал, что наука занимается тем, как обстоят дела, а дизайн - тем, какими они должны быть. Последняя мысль коррелирует с трактовкой автора этой статьи, сравнивавшего понятия *проектирование* и *управление* (см. определения в [54]).

Журнал «Онтология проектирования» - продукт, рождённый университетскими и академическими учёными в содружестве с издательством и рядом сочувствующих инновационных предприятий. Создание его обусловлено теми процессами в области информационных технологий и, в частности, созданием систем ИИ, которые выявили, с одной стороны, потребность в разработке интероперабельных систем, с другой стороны, демонстрировали накопленные работы в области создания онтологий предметных областей и онтологического инжиниринга, а также наличие уже работающих в университетах образовательных ресурсов.

Историю создания и развития журнала «Онтология проектирования» можно проследить по тем презентациям, которые были сделаны автором на международных конференциях Science Online⁴², организуемых Научной электронной библиотекой eLIBRARY.RU, а также по докладам и публикациям на других международных научных конференциях⁴³.

Наиболее важные атрибуты среды проектирования или факторы, определяющие реализуемость проекта по созданию и продвижению нового научного журнала, включают наличие:

- одноимённых или близких по тематике учебных дисциплин в университетах, в которых отрабатывается освоение новых знаний и осуществляется их трансляция новым субъектам проектной деятельности (например, в Самарском университете - это: «Онтология производственной сферы» для бакалавров с 2006 г., «Онтология проектирования» для магистров с 2010 г. и для аспирантов с 2016 г.)
- работающих научных семинаров, конференций (например, научный семинар «Онтология проектирования» в Самарском университете совместно с ИПУСС РАН);
- родственных научных сообществ (РАИИ, ИАОА)
- ресурсов на продвижение журнала (интеллектуальных, финансовых, материальных...).

⁴¹ Саймон, Герберт Александер (Simon, Herbert Alexander) (1916–2001), американский ученый, изучавший принципы и процессы принятия решений в различных областях человеческой деятельности. Лауреат Нобелевской премии 1978 года

⁴² International Conference «SCIENCE ONLINE: electronic information resources for science and education»

- Боргест Н.М. Опыт создания и развития научного журнала «Онтология проектирования». (Belek, Turkey, 2014). - http://elibrary.ru/projects/conference/turkey2014/conf_2014_1_program.asp.
- Боргест Н.М. Научометрический самоанализ научного журнала на примере журнала «Онтология проектирования» (Тосса де Мар, Испания, 2016). – <https://www.elibrary.ru/projects/conference/spain2016/program.asp>
- Боргест Н.М. Рейтингование журналов на университетском уровне (Бадгастайн, Австрия, 2018). – <https://elibrary.ru/projects/conference/austria2018/presentations/borgest.pdf>.
- Боргест Н.М. Онтология проектирования научного журнала (о. Майорка, Испания, 2019). - <https://www.elibrary.ru/projects/conference/majorca2019/program.asp>.

⁴³ Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС — 2016) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю.С. Попков, А.В. Мельников. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016.

- Боргест Н.М. Информационная поддержка издательской деятельности на примере выпуска научного журнала «Онтология проектирования». с.72-75.

3rd International Scientific Practical Conference «SCIENCE EDITION OF THE INTERNATIONAL LEVEL - 2014: Improving quality and presence at the world of information resources» (Moscow, Russia, 2014).

- Боргест Н.М. Продвижение на международный рынок научного издания на примере журнала «Онтология проектирования». - <http://conf.neicon.ru/index.php/science/domestic2014/schedConf/program>.

Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды 16-й Международной научной конференции, Самара: СНЦ РАН, 2014. – 756 с.

- Боргест Н.М., Смирнов С.В., Келдибаев Б.К. Информационное и функциональное моделирование работы офиса научного журнала на основе онтологий. с.167-174.

Итоги конференции «Инновации в САПР» 2014, SDI Solution, Москва.

- Боргест Н.М. «Онтология проектирования» - новый научный журнал по онтологическому инжинирингу. <http://www.sdi-solution.ru/index.php/about/news/154-itogi-konferentsii-innovatsii-v-sapr-2014>.

«Воронка знаний» - слабая аналогия научного журнала, однако в привязке к «Онтологии проектирования» - сильная метафора, где процесс от неосознанного незнания через его осознание приводит к «очевидному» - неосознанному знанию.

Жизненный цикл научного журнала включает следующие основные этапы:

- 1) формирование концепции научного направления (рождение идеи создания журнала);
- 2) создание организационной структуры нового журнала (редакции, редколлегии, издательства);
- 3) организация потока научных работ в журнал (продвижение журнала на конференциях, в научных сообществах);
- 4) производство научной продукции (рецензирование, редактирование), рубрикация материалов;
- 5) распространение и хранение/архивация;
- 6) трансформация научного направления (выделение нового направления из рубрик журнала и создание нового журнала, вырождение тематики и «смерть» журнала).

Журнал и его авторы - равноправные партнёры по формированию новых знаний в конкретной ПрО. Редколлегия, рецензенты, редакторы - не судьи, а партнёры для авторов. Судья и оценщик общего труда - подготовленный в данной ПрО читатель, который вправе дать аргументированную оценку готовому научному продукту – статье, журналу! Этот же «продвинутый» читатель в будущем - потенциальный автор журнала. Поэтому три базовых сущности в журнале (автор, редактор и читатель) фактически являются одной с разными ролями на этапах жизненного цикла формирования новых знаний.

Подробно о сущностях, атрибутах и ролях этих сущностей в науке автор остановился в работе [55], представив их классификацию. В науке, как и в других сферах деятельности, всегда были и будут сотрудники с разными целевыми установками, с разными амбициозными планами, с разной ментальностью и разными культурными традициями. Но все эти установки, свойства, атрибуты участников научной (и псевдонаучной) деятельности не являются константами. Они меняются со временем, и у каждого процесс изменений индивидуален и во многом зависит от параметров внешней среды.

Эти свойства в большинстве своём - трудно выявляемые и трудно идентифицируемые. Их субъективная оценка может быть дана коллегами по цеху, объективизация которой зависит от степени их аффилированности (служебных, творческих, личных и других отношений).

При этом известно, что любое обобщение не работает в конкретном случае. Но каждая обобщённая сущность может строить и строит своё поведение исходя из обстоятельств, формируемых внешними условиями. А эти внешние обстоятельства определяются критериями оценки деятельности, которые становятся векторами их эволюции.

Ключевым в фиксации знания является научный продукт, который условно может быть представлен в формате **5A** как

$Article = Author + Affiliation + Advantage + Attribution + Agent$, где:

Article – научная статья;

Author – атрибуты Автора;

Affiliation – атрибуты коллективной, организационно оформившейся Сущности, которую представляет Автор;

Advantage – реальный вклад в науку (Польза для науки) от публикации статьи (*Article*);

Attribution – приписываемая, возможная Польза (или вред) для науки от *Article*;

Agent – атрибуты агента, средства фиксации и распространения научных знаний (журналы, труды и материалы конференций, монографии, базы данных...).

Что касается *Агента*, то стоит заметить, что Тони Фрай (*Tony Fry*) – известный теоретик дизайна и философ, публиковавший свои статьи в упомянутом журнале Анн-Мари Уиллис и

выпустивший трилогию о дизайне [56], также использует это понятие в определении проектирования. По его мнению, дизайн - это мета-категория, состоящая из трёх элементов: объект дизайна (материальный или нематериальный результат проектирования); процесс проектирования (система, организация, поведение и деятельность по проектированию); и дизайнерское *агентство* (дизайнер, инструкция по дизайну на любом носителе).

В отличие от бизнес-модели, где продукт или услуга изначально имеют относительно легко верифицируемые атрибуты, которые доступны потребителям (заказчикам) и в конкурентной борьбе измеряются рыночным эквивалентом, в качестве которого выступает та или иная валюта, в науке, особенно в фундаментальной, содержание научного поиска скрыто в лабиринтах непознанного. Содержание и тем более планируемые результаты исследования неясны даже самому учёному и не предсказуемы в принципе. Поэтому измерить ожидаемый бизнес-эффект невозможно. Наметившийся тренд на доступность знания, на открытую науку (Open Science) опирается на тезис, что само по себе знание, в отличие от товара или услуги, не может конкурировать. Конкурируют не знания, а субъекты, их открывающие, т.е. лишь *приоритеты* в открытии этих знаний. Думается, что патентная модель оценки приоритетов может быть использована и в других отраслях знаний.

Необходим анализ содержания научной деятельности, полученного для науки верифицируемого результата, который может интерпретироваться как приращение знаний в конкретной ПрО [55]. Вопросы методологии научной деятельности подробно освещались в отечественной и зарубежной литературе [57-60], а также в психологии науки [61, 62]. Однако формализовать процесс содержательной оценки этой деятельности применительно к науке пока не удалось.

Важной для развития науки мерой являлась бы возможность определить в абсолютном или относительном виде значение приращения добытых знаний для оценки деятельности и вклада учёных, авторов статей и журналов, публикующих эти материалы. Отсутствие этих мер приводит к поиску косвенных признаков востребованности знаний через цитируемость и количество публикаций. Количественные легко измеряемые внешние атрибуты статей стали показателями и даже критериями деятельности субъектов науки (авторы, журналы, университеты и даже страны и континенты).

Предлагается использовать возможности современных средств формализации знаний в форме онтологий в наукометрии. Хорошим подспорьем могли бы здесь быть разрабатываемые порталы знаний [63, 64], тематические журналы и их кооперации, с обсуждением наполнения онтологий ПрО на профильных конференциях и саммитах.

Знание может быть представлено в виде онтологии ПрО, в которой авторы статьи должны указать (доказать, обосновать, аргументировать), в какой части этой онтологии получены (выявлены, исследованы, проанализированы) новые сущности, новые свойства (атрибуты, отношения) сущностей, новые методы (процессы, алгоритмы, теории).

Новизна и оригинальность идей, методов, решений, позволяющая расширить представление о ПрО, о процессах, происходящей в ней, совместно с доказательной базой достоверности полученных новых знаний является основой для публикации в научном журнале.

Известно, что де-факто существует два вида журнала: научный и научно-образовательный, каждый со своими задачами.

Один вид, чаще всего тематический, служит для публикации верифицированных знаний, разработанных теорий, методов и концепций, включая научные гипотезы в определённой ПрО или отрасли науки. Другой вид предназначен для квалификационных задач и служит «научной песочницей», где молодые учёные отрабатывают свои навыки, умения оформлять результаты, готовить и обобщать материал своих исследований. Задача этой «песочницы» как и многочисленных конференций - обучение и кадровое обеспечение будущего науки.

Конечно, лишь тематические, профильные журналы и создаваемые на их основе научные порталы могут стать аккумуляторами знаний, визуализируя, делая доступным «поле» науки, формируя сеть её понятий и теорий. Разговоры о переформатировании науки и её передового рубежа, фиксирующего знания, вполне уместны. Но соцсеть, не профессиональный и не регламентируемый разговор в ней, не заменит научную дискуссию специалистов, требующую обстоятельного разбора понятий. Прекрасный образец таких дискуссий можно видеть в среде прикладных онтологов, готовящих ежегодный онтологический саммит⁴⁴.

6 Теоретические положения онтологии проектирования

В разделе приведены обобщающие положения, выдвинутые автором и многократно обсуждённые на различных конференциях⁴⁵.

6.1 Истоки онтологии проектирования

Этот краткий отрезок бытия, который каждому из нас предстоит пройти, удивительно прекрасен. И хочется, очень сильно хочется познать многое из этой бездны мироздания, познать *онтологию жизни, онтологию её проектирования*.

Автор

Истоки онтологии проектирования от Витрувия, Платона, Аристотеля, Сократа и других мудрецов древности до современников, внесших существенный вклад в становление этого научного направления, - Виттиха, Валькмана, Самойловича и многих других выдающихся учёных - подробно рассмотрены в статье [65]. В ней подчёркивается ключевая роль онтологического анализа ПрО, поиска и обоснования формализмов и формальных методов в описании как самой ПрО, так и моделируемых в ней процессов. Автор высоко оценивает вклад Витрувия в сохранение и фиксацию проектных приёмов и процедур в конкретной ПрО, считая его первым онтологом в проектировании, опираясь на содержание первой онтологии проектирования городов и зданий, описанной в десяти книгах Витрувия [66].

Витрувий - первый учёный, давший примеры выработанных им формализмов в виде последовательности действий и правил проектанта, атрибутирования и выявления связей важнейших сущностей в ПрО, классификации объектов и инструментов, формирования требований к компетенциям субъектов проектирования. Подготовленные им книги – это первое систематическое изложение формализованного описания проектной деятельности в конкретной ПрО.

⁴⁴ Форум онтологов - <http://ontologforum.org/index.php/WikiHomePage>.

⁴⁵ *Боргест Н.М.* Введение в онтологию проектирования / Информационные технологии и системы. Труды Третьей международной научной конференции. Отв. ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. 2014. Издательство: Челябинский государственный университет (Челябинск) — 2014. — С. 61-63.

Боргест Н.М. Критериальный анализ предметной области — ключевая проблема в онтологии проектирования / В сборнике: Информационные технологии и системы. Труды Шестой Международной научной конференции. ИТиС-2017. ЧелГУ. Челябинск. 2017. - С.28-30.

Боргест Н.М. К вопросу о формировании понятия «интеллектуальный анализ информации» / XVII международная научная конференция им. Т.А. Таран "Интеллектуальный анализ информации". Киев. 2017. — Вып. 17. — С. 28-34.

Боргест Н.М. Роль онтологии в проектировании информационных систем / IV международная научно-техническая конференция Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2014. — 2014. — С. 155-160.

Боргест Н.М. Анализ и синтез данных при проектировании / Интеллектуальный анализ информации, ИАИ-2012, XII международная научная конференция имени Т.А. Таран, Киев, 17-20 мая 2012 – К.: Просвіта, 2012. – 360 с. с.6.

Боргест Н.М. Онтологическое моделирование в проектировании / Труды XVII Байкальской Всероссийской конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Том 3. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. – 285 с. с.25-31.

Боргест Н.М. Модели согласованных решений в проектировании / Труды 14-й Международной научной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 2012. - 820 с.- с.211-218.

6.2 Ключевые понятия, термины и метафора

*Человек - существо бескрылое, двуногое,
с плоскими ногтями; единственное из существ,
восприимчивое к знанию, основанному на рассуждениях.
Платон (427-347 до н.э.)*

*Верно определяйте слова, и вы освободите мир
от половины недоразумений.*

Рене Декарт (1596-1650)

Попытка определить круг основных понятий и дать обоснование ключевым терминам онтологии проектирования представлена автором в работе [54]. Автор надеется, что формирование в будущем «единого» языка проектанта на базе разрабатываемого тезауруса обеспечит и облегчит взаимопроникновение полученных результатов и достижений проектной деятельности в различные ПрО. В статье [54] рассмотрена история терминологических соглашений, начиная от Платона, проведён анализ сущностей по Аристотелю, на основе теории термина показана коэволюция термина на примере Абсолюта. На других «простых» примерах рассматриваются такие важные термины, как объект и предмет, управление и проектирование, модели параметрические и параметризованные, сложность системы, проект и проектирование и др. Отмечается важность терминологических стандартов и открытых технических словарей, представлен список ключевых терминов.

Онтологию проектирования, формализующую проектную деятельность, можно рассматривать с позиций инструментария, позволяющего распознать образ будущего изделия или системы в той проектной среде и той проектной ситуации, которые складываются в конкретный момент времени. В статье [67] исследуются возможности использования аналогий в применении процессного подхода в таких видах деятельности, как проектирование и распознавание. Предлагается метод построения образа будущего артефакта с применением мультиагентной технологии на основе матрицы проекта этого объекта при её формировании и заполнении. Метод ориентирован на традиционные схемы и типы артефактов, которые могут быть конфигурированы в виде первоначально пустой матрицы, заполнение или распознавание которой осуществляется по мере накопления данных в процессе проектирования.

6.3 Научный базис онтологии проектирования

*Два мира властвуют от века,
Два равноправных бытия:
Один объемлет человека,
Другой - душа и мысль моя.
И как в росинке чуть заметной
Весь солнца лик ты узнаешь,
Так слитно в глубине заветной
Всё мирозданье ты найдёшь.*

Афанасий Фет (1820-1892)

Научный базис формирующейся области научных исследований (научное направление исследований), очерчивающей рамки сущностных вопросов проектной деятельности и проектирования в целом, включающей, помимо традиционных в проектировании объектов, систем и процессов, саму среду проектирования, субъектов проектирования, их атрибуты и отношения, рассмотрен в статье [68]. Онтология проектирования в пределе рассматривает и исследует вопросы формализованного описания знаний субъектов проектирования о процессе проектирования артефактов, знания о самом объекте проектирования и близких к нему по свойствам артефактов, а также тезаурус ПрО. Онтология проектирования как научное

направление включает в себя: исследование понятийного аппарата и разработки на его основе тезауруса, анализ критериев и моделей проектируемого объекта, методов и сценариев проектирования, сбор и обработку информации об объекте как системе и составляющих её элементах [69, 70].

6.4 Границы онтологии проектирования

Границ научному познанию и предсказанию предвидеть невозможно.
Д.И. Менделеев

Продолжающиеся исследования в области создания компьютерных онтологий, онтологического инжиниринга, систем принятия решения, прикладных онтологий проектирования, а также проявившийся взаимный интерес гуманитариев и технических специалистов к философским, психологическим и лингвистическим аспектам онтологии проектирования обусловили необходимость чётче определить границы изучаемой и исследуемой дисциплины.

В работе [52] сделана попытка определить область исследований, уточнив и конкретизировав круг изучаемых и решаемых проблем, выставить фокус и расставить акценты, актуальные на данном периоде развития научной дисциплины, обозначить место онтологии проектирования в уже сложившейся, существующей, но быстроменяющейся дифференциации наук. Приведены результаты анализа статистического материала по ключевым словам онтологии проектирования. Показано, что разделение научных дисциплин во многом обусловлено уровнем их развития, накопленным опытом, традициями, культурными особенностями научных школ, языковым и понятийным их содержанием. Онтология проектирования рассматривается как интегративная научная дисциплина, в основе которой лежат методы системного и онтологического анализа, информационных технологий, компьютерного моделирования, искусственного интеллекта, систем автоматизированного проектирования и поддержки принятия решений, баз данных и знаний.

6.5 Инструменты онтологии

Важная тема современного инструментария, позволяющего описывать семантику ПрО, рассматривается автором в журнальных статьях [71, 72]. При этом стоит отметить, что современные технологии автоматического построения онтологий пока не очень успешны особенно в инженерных областях [73, 74].

7 Примеры реализации

В разделе приведено обобщение результатов реализации, полученных автором и многократно обсуждённых на различных конференциях⁴⁶.

⁴⁶ *Боргест Н.М.* Онтология проектирования в жизненном цикле самолёта / Труды V Междунар. научно-практической конференции «Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения». Казань, 2010 с.41-49.

Боргест Н.М. Онтологический анализ концептуального проектирования на примере самолёта / «Системный анализ и семиотическое моделирование (SASM'2011)». Сб. трудов 1-й Российской конф. с междунар. участием. Казань, 2011 с.28-34.

Боргест Н.М. Концепция робота «конструктор самолётов» / «Инженерные системы – 2011». Международная научно-практическая конференция. Тезисы докладов. Москва, 5-8 апреля 2011. – М.: РУДН, 2011 – 183 с. с.129-130.

Боргест Н.М. Модель интеллектуального интерфейса робота «конструктор самолёта» / «Интеллектуальный анализ информации, ИАИ-2011». Сб. трудов XI международной научной конференции им. Т.А.Таран. Киев, 2011. С.297-302.

Боргест Н.М. Онтология проектирования летательных аппаратов / Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2011: материалы Международной научно-технической конференции (пос. Кацивели, АР Крым, 19-23 сентября 2011 года) Донецк: ИПШ «Наука і освіта», 2011, - 324 с.

На рисунке 3 представлена в обобщённом виде схема формирования научной дисциплины «Онтология проектирования», полученная на основе интерпретации сформулированной автором метафоры, характеризующей онтологию проектирования в виде: «Взгляд сверху, как проекция взглядов снизу» [52].

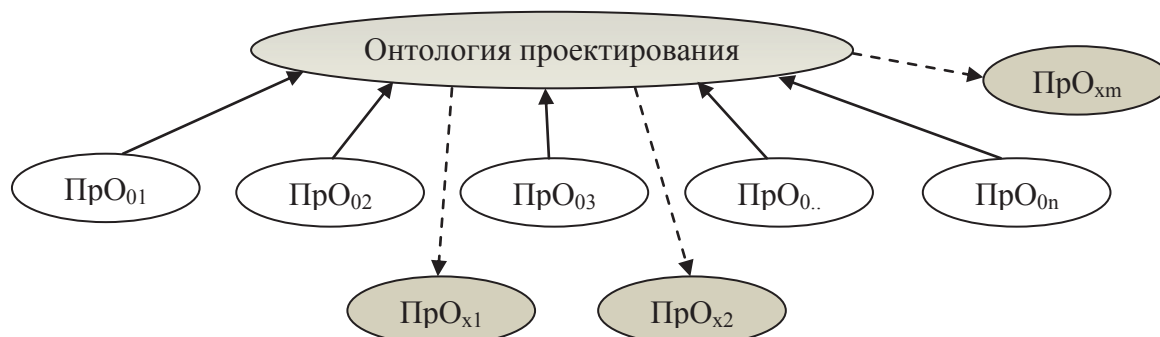


Рисунок 3 – Схема формирования научной дисциплины «Онтология проектирования» на основе достижений проектного опыта в передовых $ПрО_{01} \dots ПрО_{0n}$ и «трансляция» его в другие $ПрО_{x1} \dots ПрО_{xm}$

При этом стоит заметить, что проекции взглядов снизу формируются набором частных решений, личного опыта. На рисунке 4 приведена схема формирования личной истории, личного опыта, где изученные автором $ПрО$, выработанные в них методы, алгоритмы и технологии, позволили в дальнейшем осваивать и предлагать решения в иных, новых для автора $ПрО$, используя методы онтологического анализа и принятия решений.

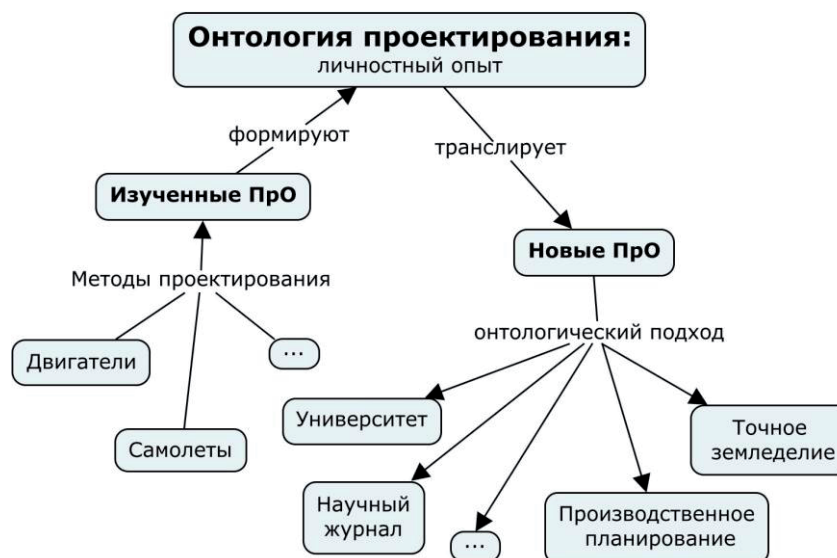


Рисунок 4 – Схема формирования научной дисциплины «Онтология проектирования» на основе личного опыта

Формирование личного опыта происходит в конкретной жизненной ситуации, в многочисленных попытках, пробах и ошибках найти «себя», своё решение, проявляется и закрепляется в конкретной деятельностной среде. На рисунке 5 показана обобщённая схема тех сред, в которых формировался личный опыт. В первую очередь, это наука и образование, а также различные бизнес-практики и общественные работы. Занимаясь в научном

плане неопределённостью в принятии решений и получив опыт в различных сферах, автор сделал для себя однозначный вывод, что максимальная степень неопределённости присутствует во властных структурах, далее следует экономика и минимальная её степень - в науке, где существует сложившаяся система верификации результата.

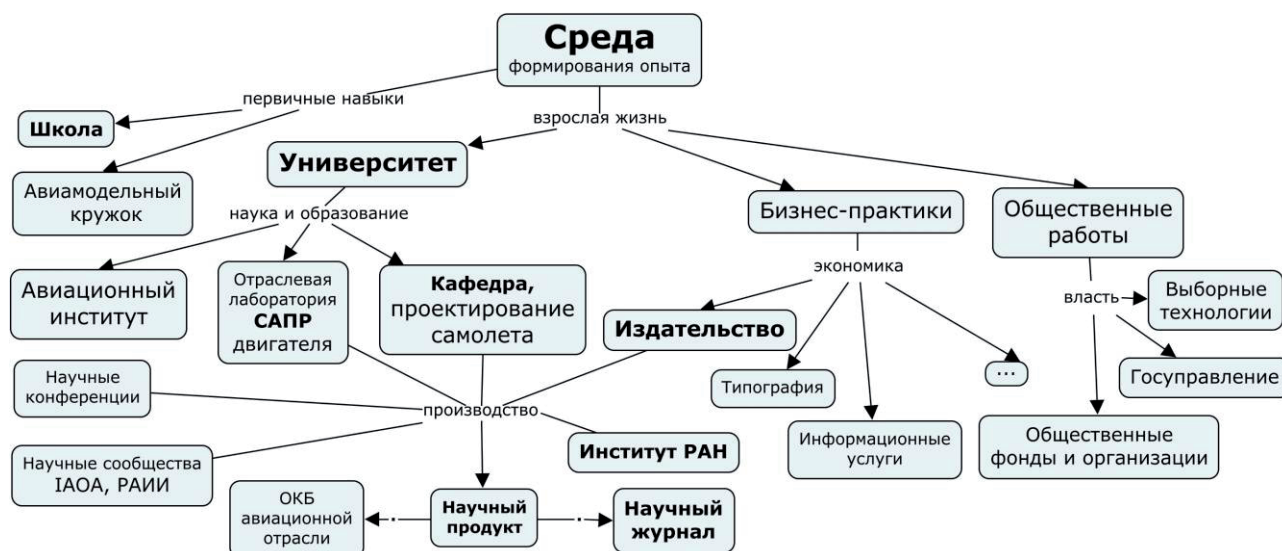


Рисунок 5 – Среда формирования личного опыта автора статьи

7.1 Робот-проектант

Разрабатываемый интеллектуальный помощник проектанта, по аналогии с английским роботом-учёным названный робот-проектант, подробно описан в статьях журнала «Онтология проектирования» [75, 76] и других журналах [77-81]. Про этого робота - предварительное проектирование самолётов различного назначения для некоторого класса схем.

7.2 Университет будущего

Будущее университета на основе онтологического подхода рассмотрено автором в ряде публикаций в журнале «Онтология проектирования» [82-84], трудах конференции [85], а также выпущенной монографии [86]. Стоит выделить предложенную автором схему автоматического зачисления абитуриентов в университеты на основе листка приоритетов, которая существенно упростила бы процесс приёма в университеты.

7.3 Онтология проектирования Super Smart Society

Вопросы общественного устройства на основе онтологического подхода освещались автором в ряде публикаций [65, 87-89]. Это сложнейшая, но в то же время наиактуальнейшая тема в эпоху информационного общества, овладевшего самыми мощными и в то же время небезопасными для существования самого общества технологиями. От успешности решения этих задач в ближайшее время зависит будущее цивилизации.

7.4 Онтологии проектирования в других Про

Онтологический подход применяется автором и его коллегами при решении различных проектных задач в различных Про. Так, например, в области машиностроения при планиро-

вании производственных операций и процедур [90-93], при подготовке руководств [94], в области точного земледелия [95], в строительстве [96], в образовании [97-102].

Заключение

Формирование научных знаний, выделение научных дисциплин, сама наука – это продукт деятельности людей, это «слоёный пирог» личных историй, личностного опыта, пропитанный средой, его формирующей.

Онтологию проектирования можно представить в координатах пространства, времени и сложности по аналогии с другими дисциплинами (см. рисунок 6) [103]. Как и все другие, исследуемая дисциплина эволюционирует во времени, пространстве и сложности, вбирая, отбирая и совершенствуя опыт, развивая его на каждом новом витке. Представленный результат личностного обобщения и понимания этой дисциплины – лишь крупинка во множестве интерпретаций, совокупность которых в конечном итоге и формирует само понятие дисциплины, её научного базиса, её границы, общепринятого словаря терминов, что способствует фокусировке научного поиска и его результативности. Можно считать, что в настоящее время онтология проектирования сложилась как определённая система знаний, имеющая свой предмет, метод, методологию и собственную логику развития.

Автор просит читателей понять неизбежность избыточности цитирования своих работ, приведённых в списке источников. Это обусловлено лишь необходимостью представить свой личностный опыт и его результат, зафиксированный в работах, без которых было бы трудно убедительно это сделать.

Благодарности

Статья подготовлена по материалам научных исследований в рамках субсидированного государственного задания Института 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] *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.
- [2] *Боргест, Н.М.* Историческая ответственность инженера / Н.М. Боргест. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 120 с.
- [3] *Боргест, Н.М.* История науки и техники в системе междисциплинарного научного знания / Н.М. Боргест. В сб.: Гуманитар. образов. в системе подготов. спец-та мирового уровня. – Самара: СГАУ, 2007.
- [4] *Маслов, В.Г.* Теория выбора оптимальных параметров при проектировании авиационных ГТД / В.Г. Маслов. - М.: Машиностроение, 1981. — 123 с.
- [5] Школа Маслова: ученики. К 90-летию Учителя / Сост. Н.М. Боргест. – Самара: Изд-во «Новая техника», 2016. – 112 с.

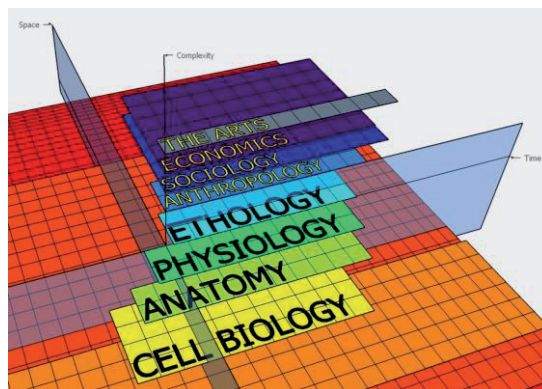


Рисунок 6 – Дисциплины в координатах пространства-времени-сложности от молекулярной биологии до социологии [103]

- [6] **Kuz'michev, V.S.** Comparative analysis of the computer-aided systems of gas turbine engine designing / V.S. Kuz'michev, Y.A. Ostapyuk, A.Y. Tkachenko, I. Krupenich // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research 2017. Vol. 6. Issue 1. P.28-35. DOI: 10.18178/ijmerr.6.1.28-35.
- [7] **Мишин, В.П.** Введение в машинное проектирование летательных аппаратов / В. П. Мишин. — М.: Машиностроение, 1978. — 128 с.
- [8] **Боргест, Н.М.** Энергопотребление как критерий оптимизации летательных аппаратов и их двигателей / Н.М. Боргест, В.С. Кузьмичев, В.Г. Маслов // В кн.: Научные чтения по авиац. и космонавтике. 1980 г. АН СССР. — М., Наука, 1981. — 215 с.
- [9] **Ножницкий, Ю.А.** Инженер-механик, учёный, учитель. К 100-летию со дня рождения И.А. Биргера / Ю.А. Ножницкий, А.И. Белоусов. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, Том.17, № 3, 2018, с.7-15. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-7-15.
- [10] **Боргест, Н.М.** Метод поиска рациональных решений при проектировании сложных технических систем и машин в условиях неопределенности исходных данных / Н.М. Боргест, А.Б. Иванов // Тез.докл.: Второй Всесоюзный съезд по ТММ. Ч.1. АН СССР. — Киев, Наук.думка, 1982. — 64 с.
- [11] Проектирование самолёта / Под ред. С.М. Егера. - М.: Машиностроение, 1983. — 616 с.
- [12] **Боргест, Н.М.** Математическая модель ТРДДФ в системе многорежимного самолета / Н.М. Боргест // Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей. — Куйбышев, 1983, - с.11-17.
- [13] **Егер, С.М.** Основы автоматизированного проектирования самолётов / С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. М.: Машиностроение, 1986. — 232 с.
- [14] Ректор Лукачёв Виктор Павлович: сб. очерков, воспоминаний / Ред.-сост. Ю.Л. Тарасов. - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2010. - 240 с.
- [15] **Komarov, V.A.** Intellectual data analysis in aircraft design / V.A. Komarov, S.A. Piyavskiy // CEUR Workshop Proceedings. — 2016. — Vol. 1638. — P. 873-881. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-873-881.
- [16] **Комаров, В.А.** Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы / В.А. Комаров // Онтология проектирования. — 2017. — Т. 7, №2(24). - С. 191-206. — DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [17] **Гермейер, Ю.Б.** Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. — М.: Наука, 1971. - 384 с.
- [18] **Венцель, Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Венцель. - М.: Наука, 1988. -208 с.
- [19] **Емельянов, С.В.** Системное проектирование средств автоматизации / С.В. Емельянов, Н.Е. Костылева, Б.П. Матич, Н.Н. Миловидов. - Москва: Машиностроение, 1978. - 190 с.
- [20] **Моисеев, Н.Н.** Неформальные процедуры и автоматизация проектирования. — М.: Знание, 1979. — 64 с.
- [21] **Райфа Г.** Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределённости) / Г. Райфа. — М.: Наука, 1977. — 408 с.
- [22] **Уайлд, Д.** Оптимальное проектирование. — М.: Мир, 1981. — 272 с.
- [23] **Дитрих, Я.** Проектирование и конструирование. Системный подход / Я. Дитрих. — М.: Мир, 1981. — 456 с.
- [24] **Джонс, Дж.** Методы проектирования / Дж. Джонс. — М.: Мир, 1986. — 326 с.
- [25] **Поспелов, Г.С.** Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов. — М.: Наука, 1988. — 280 с.
- [26] **Поспелов, Д.А.** Фантазия или наука? На пути к искусственному интеллекту / Д.А. Поспелов. — М.: Наука, 1982. — 280 с.
- [27] **Поспелов, Д.А.** Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов / Д.А. Поспелов. — М.: Радио и связь, 1989. — 184 с.
- [28] Искусственный интеллект: в 3 кн. Справочник. Кн.1. Системы общения и экспертные системы / Под ред. Э.В. Попова. - 464 с. Кн.2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. — 304 с. Кн.3. Программные и аппаратные средства / Под ред. В.Н. Захарова, В.Ф. Хорошевского. — 368 с. — М.: Радио и связь, 1990.
- [29] **Боргест, Н.М.** Автоматизация предварительного проектирования самолета / Н.М. Боргест. — Самар. авиац. ин-т.: Самара. 1992. - 92 с.
- [30] **Gruber, T.R.** A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 1993; 5(2):199-220. - <https://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf>.
- [31] **Боргест, Н.М.** Онтология в техническом вузе / Н.М. Боргест // В сб.: Гуманитар. образов. в системе подго- тов. спец-та мирового уровня. СГАУ, 2007.
- [32] **Боргест, Н.М.** Концепция гибридной экспертной системы предварительного проектирования самолета / Н.М. Боргест // Методы использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах. Куй- бышев, 1989. - С.43-55.
- [33] **Боргест, Н.М.** Пакет многокритериальной оптимизации в гибридной экспертной системе РИСК / Н.М. Боргест // Методы использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах. Куй- бышев, 1990. - С.19-22.

- [34] **Боргест, Н.М.** Краткий словарь авиационных терминов / Н.М. Боргест, А.И. Данилин, В.А. Комаров. – М.: МАИ, 1992. – 224 с.
- [35] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер. – 2000. 384 с.
- [36] **Полани, М.** Личностное знание. На пути к посткритической философии / Под ред. В.А. Лекторского, В.А. Аршинова. М.: "Прогресс", 1985. 344 с.
- [37] **Гаврилова, Е.В.** Трансляция научного опыта и личностное знание / Е.В. Гаврилова, Д.В. Ушаков, А.В. Юревич // Социологические исследования. 2015. № 9. С.28-35.
- [38] **Ушаков, Д.В.** Психология интеллекта и одарённости / Д.В. Ушаков. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011. – 464 с. (Экспериментальные исследования).
- [39] **Пломин, Р.** Генетика и когнитивные способности / Р. Пломин, Т.С. Прайс // Иностранная психология. 2001. № 14. С.6–16.
- [40] **Рубинштейн, С.Л.** Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. – Издательство: Питер, 2002. 720 с.
- [41] **Виттих, В.А.** Онтологии в интересующих теориях / В.А. Виттих, М.В. Игнатъев, С.В. Смирнов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. - №5. - С. 69–70.
- [42] **Боровик, С.Ю.** Онтологии, интересующее управление и эвергетика В.А. Виттиха / С.Ю. Боровик // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №3(37). - С.255-272. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-255-272.
- [43] **Виттих, В.А.** Понятие интересующести в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. - 2014. - №4(14). - С.90-97.
- [44] **Гуссерль, Э.** Картезианские размышления / Э. Гуссерль; Пер. с нем. Д. В. Складнева. - СПб.: Наука: Ювента, 1998. - 315 с.
- [45] **Hübner, Kurt.** Kritik der wissenschaftlichen Vernunft. Freiburg/München Verlag Karl Alber 1978. / Курт Хюбнер: Критика научного разума. — М., 1994. // Электронная публикация: Центр гуманитарных технологий. — 24.12.2011. <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/5200>.
- [46] **Хюбнер, К.** Истина мифа / К. Хюбнер. – М.: Республика, 1996. - 448 с.
- [47] **Гаврилова, Т.А.** Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге / Т.А. Гаврилова, Э.В. Страхович // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №1(35). - С.87-99. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [48] **Колчин, А.Ф.** Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков. - М.: Анахарсис, 2002. - 303 с.
- [49] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования / Н.М. Боргест. Изд.2-е, перераб. и дополн. – Самара: Изд-во «Новая техника», 2014. - 280 с.
- [50] **Боргест, Н.М.** Введение в онтологию проектирования / Н.М. Боргест. Саарбрюкен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 140 с.
- [51] **Боргест, Н.М.** Онтологический анализ решения проектных задач на примерах / Н.М. Боргест, Е.В. Симонина, Д.В. Шустова. Саарбрюкен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 144 с.
- [52] **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.
- [53] **Willis, Anne-Marie.** Ontological designing / Anne-Marie Willis // Design Philosophy Papers 2006, p.80-98.
- [54] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. - № 3(9). - 2013. — с. 9-31.
- [55] **Боргест, Н.М.** Онтологический подход к формированию оценки субъектов, организационных структур и результатов научной деятельности // VII Международная конференция "Знания - Онтологии - Теории (ЗОНТ-2019)". — 2019. — С. 57-65.
- [56] **Fry, Tony.** Design Futuring: Sustainability, Ethics, and New Practice (2009); Design as Politics (2011); Becoming Human by Design / Tony Fry. Berg Publishers, 2012.
- [57] **Лефевр, В.А.** Конфликтующие структуры / В.А. Лефевр. 2-е изд. - М.: Высшая школа, 1973. – 158 с.
- [58] **Новиков, А.М.** Методология научного исследования / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. Изд.3. URSS, 2015. - 272 с.
- [59] **Новиков, А.М.** Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. — М.: СИНТЕГ. – 663 с.
- [60] **Белов, М.В.** Структура методологии комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков // Онтология проектирования. – 2017. Т.7, №4(26): 366-387. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [61] **Агафонов, А.Ю.** Наука о сознании: нерешённые проблемы / А.Ю. Агафонов // Онтология проектирования. - 2014; №2(12): 8-18.
- [62] **Аллахвердян, А.Г.** Психология науки / А.Г. Аллахвердян, Г.Ю. Мошкова, А.В. Юревич, М.Г. Ярошевский. — М.: Московский психолого-социальный институт: Флинта, 1998. — 312 с.

- [63] **Загорулько, Г.Б.** Разработка онтологии для Интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях / Г.Б. Загорулько // *Онтология проектирования*. 2016. Т. 6, №4(22): 485-500. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
- [64] **Загорулько, Ю.А.** Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области / Ю.А. Загорулько // *Онтология проектирования*. 2015. Т.5, №1(15): 30-46.
- [65] **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.
- [66] **Витрувий.** Десять книг об архитектуре / Пер. Ф. А. Петровского. Т.1. М., Изд-во Всес. Академии архитектуры. (Серия «Классики теории архитектуры»). 1936. – 331 с. - <http://antique.totalarch.com/vitruvius>.
- [67] **Боргест, Н.М.** Распознавание образов при создании артефактов как метафора и как прикладные технологии онтологии проектирования / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. — 2015. — № Т. 5, № 1(15). — С. 19-29.
- [68] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. - № 1(7). - 2013. — с. 7-25.
- [69] **Боргест, Н.М.** Анализ параметров сложных систем при создании баз данных / Н.М. Боргест, Т.С. Сергеева // *Научно-технический журнал «Искусственный интеллект»*. — 2013. — № 3 (61). — С. 332-336.
- [70] **Боргест, Н.М.** Проектный синтез данных сложных систем на основе прототипов / Н.М. Боргест, Г.С. Канчер // *Научно-технический журнал «Искусственный интеллект»*. 2013. № 4(62). С.273-276.
- [71] **Боргест, Н.М.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // *Онтология проектирования*. 2013. № 2 (8). С.49-55.
- [72] **Буракова, Е.Е.** Языки описания онтологий для технических предметных областей / Е.Е. Буракова, Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // *Вестник СГАУ*. — 2014. — № 3 (45). — С. 144-158.
- [73] **Al-Aswadi, F.N.** Automatic ontology construction from text: a review from shallow to deep learning trend / Al-Aswadi, F.N., Chan, H.Y. & Gan, K.H. // *Artif Intell Rev* 53, 3901–3928 (2020).
- [74] **Muhammad, A.** A survey of ontology learning techniques and applications / Asim, Muhammad & Wasim, Muhammad & Ghani, Usman & Mahmood, Waqar. // *Database The Journal of Biological Databases and Curation*. 2018. 1–24. 10.1093/database/bay101.
- [75] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: фантазии и реальность / Н.М. Боргест, А.А. Громов, А.А. Громов, Р.Х. Морено, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова, С.А. Одинцова, Ю.Е. Княжихина // *Онтология проектирования*. 2012. №4(6). С.73-94.
- [76] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: на пути к реальности / Н.М. Боргест, С.А. Власов, Ал.А. Громов, Ан.А. Громов, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова // *Онтология проектирования*. 2015. Т.5, №4(18). С.429-449. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [77] **Боргест, Н.М.** Определение массы частей самолета на основе параметрической 3D модели на этапе технических предложений / Н.М. Боргест, А.А. Громов, А.И. Тарабаева // *Вестник СГАУ*. 2013. № 1 (39). С.55-62.
- [78] **Боргест, Н.М.** Иерархические и ассоциативные связи между терминами в тезаурусе на примере словаря проектанта / Н.М. Боргест, С.Р. Гиматдинова, Д.В. Шустова // *Вестник СГАУ*. 2012. № 2(33). С.228-236.
- [79] **Боргест, Н.М.** Автоматизированное формирование 3D модели самолёта на этапе технических предложений / Боргест Н.М., П.А. Аксаян, Р.Х. Алеев, А.А. Громов // *Вестник СГАУ*, №4(35), 2012 с.139-148.
- [80] **Боргест, Н.М.** Автоматизированное заполнение матрицы проекта на основе онтологии / Н.М. Боргест, С.Р. Гиматдинова, Д.В. Шустова // *Известия СНЦ РАН*, 2012. Т.14, №6, с.227-232.
- [81] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования самолета / Н.М. Боргест // *Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект»*. № 4, 2011. С.260-265.
- [82] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 1: история, прогноз, модели / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. 2011. № 1(2). С.66-79.
- [83] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 2: сущности, мотивация, проектное обучение / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. 2012. № 1(3). С.87-105.
- [84] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 3: автоматизация бизнес-процессов / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. 2014. № 1(7). С.87-105.
- [85] **Боргест, Н.М.** Принципы управления вузом на основе самоорганизации / Н.М. Боргест // *Труды 13-й Международной научной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*, ИПУСС РАН, Самара, 2011. С. 391-400.
- [86] **Боргест, Н.М.** Будущее университета. Онтологический подход / Н.М. Боргест. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 112 с.
- [87] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования Super Smart Society: сущности, понятия, проблемы / Н.М. Боргест // XXI международная научная конференция "Проблемы управления и моделирования в сложных системах" (ПУМСС-2019). 2019. Т.2. С.9-14.

- [88] **Боргест, Н.М.** Процессы управления в обществе: онтологические доминанты и информационные технологии / Н.М. Боргест // Труды XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». ИПУСС РАН, Самара, 2015. С.181-191.
- [89] **Боргест, Н.М.** Проблемы в информационном высокотехнологичном обществе: опыт одного путешествия / Н.М. Боргест // Информационные технологии и системы. 2015. С. 104-106.
- [90] **Ржевский, Г.** Новый подход к управлению жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности с использованием теории сложности / Г. Ржевский, Д. Кнезевик, П.О. Скобелев, Н.М. Боргест, Е.В. Симонова, О.И. Лахин // Мехатроника, автоматизация, управление, 2016. Т.17, № 4. С.282-288. DOI: 10.17587/mau.17.282-288.
- [91] **Боргест, Н.М.** К вопросу базовой онтологии машиностроительного предприятия // Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // Бионика интеллекта, 2013. № 1(80). С.128-132.
- [92] **Rzevski, G.** Managing aircraft lifecycle complexity / G. Rzevski, J. Knezevic, P. Skobelev, N. Borgest, O. Lakhin. // International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. 2016. WIT Press, Vol. 11(2016), No. 2. p.77-87. DOI 10.2495/DNE-V11-N2-77-87.
- [93] **Borgest, N.** Ontological modeling of satellite’s manufacturing work flow instruction / N. Borgest, A. Orlova // 6th Russian-German Conference on Electric Propulsion and Their Application. Procedia Engineering 185 (2017) 146–152.
- [94] **Borgest, N.** Ontological modeling of flight preparation manual / N. Borgest, A. Orlova // Przegląd Elektrotechniczny 2017. Vol. 93. Issue 1. P.105-107. DOI: 10.15199/48.2017.01.25.
- [95] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения / Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). - С. 423-442. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [96] **Боргест, Н.М.** Предпроектный анализ интеллектуального жилого дома для условий Арктики / Н.М. Боргест, А.С. Галахарь, М.В. Овсянников, Р.О. Самсонов // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №1(31). - С.85-100. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-85-100.
- [97] **Korovin, M.** Multi-agent approach towards creating an adaptive learning environment / M. Korovin, N. Borgest // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 836. P.216-224.
- [98] **Borgest, N.** Ontological approach towards semantic data filtering in the interface design applied to the interface design and dialogue creation for the “Robot-aircraft designer” informational system / N. Borgest, M. Korovin // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 534. P.93-101.
- [99] **Malochkina, A.** Information support in education process of an ontology design / A. Malochkina, N. Borgest // Advances in Computer Science Research. 2017. Vol. 72. P.404-407.
- [100] **Flores, Kh.** Classification of Objects for Conceptual Design: An Ontology Based Approach / Kh. Flores, N. Borgest // Advances in Computer Science Research. 2017. Vol. 72. P.393-396.
- [101] **Orlova, A.A.** Text verification instruction manual using the ontologies / A.A. Orlova, N.M. Borgest // Proceedings of the 2016 Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM). 2016. Vol. 51. P. 238-241.
- [102] **Borgest, N.M.** Formalization Of Design Procedures In The Engineer's Educational Strategy / N.M. Borgest, M.D. Korovin // Proceedings of the 2016 Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM). 2016. Vol. 51. P. 524-527.
- [103] Time, Space, Complexity. Posted on September 30, 2020. <https://headbirths.wordpress.com/2020/09/30/time-space-complexity/>.

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1978 г., к.т.н. (1985). Профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета, с.н.с. ИПУСС РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта, Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям (IAOA). В списке научных трудов более 200 работ в области САПР и ИИ. Author ID (RSCI): 9142; Author ID (Scopus): 6603474810; Researcher ID (WoS): B-4793-2014. borgest@yandex.ru.



Поступила в редакцию 16.11.2020, Принята к публикации 25.12.2020.

Formation and development of Ontology of designing as a scientific discipline: a brief history of personal experience

N.M. Borgest

*Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia
Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Science,
Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Science, Samara, Russia*

Abstract

The article attempts to present the author's view on the history of the formation and development of a scientific discipline, referred to as the ontology of designing. The presented material summarizes the work carried out by the author over the past ten years. The author as the founder and executive editor of the journal of the same name with as the discipline under consideration uses the articles published in it and the materials of his works presented at various international conferences, in other specialized journals and published monographs. Despite the fact that the analysis of the formation of the discipline is largely based on the author's own personal experience and is viewed through the prism of this experience, nevertheless, the basis of this formed discipline is the numerous works of its predecessors, ranging from the architects of ancient Greece, mathematicians and engineers of the Middle Ages, and ending with modern works in the field of artificial intelligence and information technology. The author shares a brief personal background of the formation of his own understanding of the ontology of designing, paying tribute to his first scientific advisor V.G. Maslov, who fostered in him a systematic approach to optimizing complex systems, paying particular attention to design uncertainty. Work experience on the creation of computer-aided design systems for the engine, and later for the aircraft as a whole in cooperation with industry, teaching the disciplines on the design of technical systems, general design theory, information systems, databases, ontology of designing and production ontology allowed the author to develop a scientific basis for a new discipline, determine its boundaries and a place in the existing scientific space, develop a range of key terms, form the very concept of ontology of designing. The article provides examples of the implementation of the concept of ontology of designing in various subject areas, in particular, when creating a robot designer at the stage of preliminary design of an aircraft, when forming a model of a future university, in the tasks of production planning, development of electronic manuals, design of scientific journals and other organizational and technical systems.

Key words: *systems analysis, scientific discipline, ontology, artificial intelligence, design, optimization, personal experience.*

Citation: *Borgest NM. Formation and development of Ontology of designing as a scientific discipline: a brief history of personal experience [In Russian]. Ontology of designing. 2020; 10(4): 415-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.*

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 knowledge representation, computational algorithms and multi-agent technologies in the problems of optimizing the management of complex systems».

List of figures and table

Figure 1 - Generalized (simplified) correlation and connection of concepts

Figure 2 - The structure of information flows in the information field of subjects

Figure 3 - The scheme of the formation of the scientific discipline "Ontology of Designing" based on the achievements of project experience in advanced subject areas and its "translation" into other subject areas

Figure 4 - The scheme of the formation of the scientific discipline "Ontology of Designing" based on personal experience

Figure 5 - The environment for the formation of author's personal experience

Figure 6 - Disciplines in space-time-complexity coordinates from molecular biology to sociology [103]

Table 1 - A brief personal background of ontology of designing: from V. Maslov to T. Gruber

References

- [1] **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.
- [2] **Borgest NM.** Historical responsibility of the engineer [In Russian]. Samara: Publishing house of Samara University, 2018. 120 p.
- [3] **Borgest NM.** History of science and technology in the system of interdisciplinary scientific knowledge [In Russian]. In collection: Humanitarian education in the system of training specialists of the world level. Samara: SSAU, 2007.
- [4] **Maslov VG.** The theory of choosing the optimal parameters in the design of aircraft gas turbine engines [In Russian]. М.: Mechanical Engineering, 1981. 123 p.
- [5] Maslov's school: students. To the 90th anniversary of the Teacher [In Russian]. Comp. N.M. Borgest. Samara: Publishing house "New technology", 2016. 112 p.
- [6] **Kuz'michev VS, Ostapyuk YA, Tkachenko AY, Krupenich I.** Comparative analysis of the computer-aided systems of gas turbine engine designing. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* 2017. Vol. 6. Issue 1. P.28-35. DOI: 10.18178/ijmerr.6.1.28-35.
- [7] **Mishin VP.** Introduction to Aircraft Machine Design [In Russian]. Moscow: Mechanical Engineering, 1978. 128 p
- [8] **Borgest NM, Kuz'michev VS, Maslov VG.** Energy consumption as a criterion for the optimization of aircraft and their engines [In Russian]. In the book: Scientific readings on aviation. and astronautics. 1980 USSR Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 1981. 215 p.
- [9] **Nozhnitsky SA, Belousov AI.** Mechanical engineer, scientist, teacher. To the 100th anniversary of the birth of I.A. Birger [In Russian]. *Samara University Bulletin. Aerospace engineering, technology and mechanical engineering*, 2018; 17(3): 7-15. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-7-15.
- [10] **Borgest NM, Ivanov AB.** The method of searching for rational solutions in the design of complex technical systems and machines in conditions of uncertainty of initial data. Second All-Union Congress on TMM. Part 1. Academy of Sciences of the USSR. - Kiev, Nauk. dumka, 1982. 64 p.
- [11] Aircraft design [In Russian]. Ed. CM. Jaeger. Moscow: Mechanical Engineering, 1983. 616 p.
- [12] **Borgest NM.** Mathematical model of the turbojet engine in the multi-mode aircraft system [In Russian]. *Design and fine-tuning of aircraft gas turbine engines*. Kuibyshev, 1983, p. 11-17.
- [13] **Eger SM, Liseytshev NK, Samoilovich OS.** The basics of computer-aided aircraft design [In Russian]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 232 p.
- [14] Rector Lukachev Viktor Pavlovich: collection of essays, memoirs [In Russian]. Ed.-comp. Yu.L. Tarasov. Samara: Publishing house of Samara State Aerospace University, 2010. 240 p.
- [15] **Komarov VA, Piyavskiy SA.** Intellectual data analysis in aircraft design. *CEUR Workshop Proceedings*. 2016; 1638: 873-881. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-873-881.
- [16] **Komarov VA.** Theoretical basis for design of load-bearing structures produced using additive technologies [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017; 7(2): 191-206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [17] **Germeier UB.** An introduction to the theory of operations research [In Russian]. Moscow: Nauka, 1971. 384 p.
- [18] **Wentzel EC.** Operations research: objectives, principles, methodology [In Russian]. Moscow: Nauka, 1988. 208 p.
- [19] **Emelyanov SV, Kostyleva NE, Matic BP, Milovidov NN.** System design of automation equipment [In Russian]. Moscow: Mechanical Engineering, 1978. 190 p.
- [20] **Moiseev NN.** Informal procedures and design automation [In Russian]. Moscow: Knowledge, 1979. 64 p.
- [21] **Raiffa H.** Decision analysis (Introductory lectures on choices under uncertainty). Publisher. Reading, Mass., Addison-Wesley. 1968.
- [22] **Wilde DJ.** Globally optimal design. NY: John Wiley & Sons, 1978.
- [23] **Dietrych J.** System I Konstrukcja [In Polish]. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1978.
- [24] **Jones JC.** Design methods. NY: John Wiley & Sons, 1982.
- [25] **Pospelov GS.** Artificial intelligence is the basis of new information technology [In Russian]. Moscow: Nauka, 1988. 280 p.
- [26] **Pospelov DA.** Fantasy or Science? Towards Artificial Intelligence [In Russian]. Moscow: Nauka, 1982. 280 p.
- [27] **Pospelov DA.** Modeling reasoning. Experience in the analysis of mental acts [In Russian]. Moscow: Radio and communication, 1989. 184 p.
- [28] Artificial intelligence: Directory in 3 books [In Russian]. Book 1. Communication systems and expert systems. Ed. E.V. Popov. 464 p. Book 2. Models and Methods. Ed. D.A. Pospelov. 304 p. Book 3. Software and hardware tools. Ed. V.N. Zakharov, V.F. Khoroshevsky. 368 p. Moscow: Radio and communication, 1990.
- [29] **Borgest NM.** Aircraft preliminary design automation [In Russian]. Samara Aviation Institute: Samara. 1992. 92 p.
- [30] **Gruber TR.** A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 1993; 5(2):199-220. - <https://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf>.

- [31] **Borgest NM.** Ontology at a technical university [In Russian]. In collection: Humanit. Educat. in the system of training specialists of the world level. Samara: SSAU, 2007.
- [32] **Borgest NM.** The concept of a hybrid expert system for preliminary design of an aircraft [In Russian]. Methods for using artificial intelligence in automated systems. Kuibyshev, 1989. p.43-55.
- [33] **Borgest NM.** Multicriteria optimization package in the RISK hybrid expert system [In Russian]. Methods for using artificial intelligence in automated systems. Kuibyshev, 1990. p.19-22.
- [34] **Borgest NM, Danilin AI, Komarov VA.** A short dictionary of aviation terms [In Russian]. M.: MAI, 1992. 224 p.
- [35] **Gavrilova T.A., Khoroshevsky VF.** Knowledge base of intelligent systems [In Russian]. SPb.: Peter. 2000. 384 p.
- [36] **Polani M.** Personal knowledge. Towards Post-Critical Philosophy [In Russian]. Ed. V.A. Lektorsky, V.A. Arshinova. Moscow: "Progress", 1985. 344 p.
- [37] **Gavrilova EV, Ushakov DV, Yurevich AV.** Translation of scientific experience and personal knowledge [In Russian]. *Sociological research.* 2015; 9: 28-35.
- [38] **Ushakov DV.** Psychology of intelligence and giftedness [In Russian]. Moscow: Publishing house "Institute of Psychology RAS", 2011. 464 p. (Experimental research).
- [39] **Plomin R, Price TS.** Genetics and cognitive abilities [In Russian]. *Foreign psychology.* 2001; 14: 6–16.
- [40] **Rubinstein SL.** Fundamentals of General Psychology [In Russian]. Publisher: Peter, 2002. 720 p.
- [41] **Vittikh VA, Ignatiev MV, Smirnov SV.** Ontologies in intersubjective theories [In Russian]. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie.* 2012; 5: 69-70.
- [42] **Borovik SYu.** Ontologies, intersubjective management and V.A. Vittikh's evergetics [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(3): 255-272. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-255-272.
- [43] **Vittikh VA.** The concept of intersubjectivity in evergetics [In Russian]. *Ontology of designing.* 2014; 4(14): 90-97.
- [44] **Husserl E.** Cartesian Reflections [In Russian]. Transl. Germ. D.V. Sklyadnev. SPb: Science: Juventa, 1998. 315 p.
- [45] **Hubner K.** Kritik der wissenschaftlichen Vernunft. Freiburg/München Verlag Karl Alber 1978.
- [46] **Hubner K.** The truth of the myth [In Russian]. Transl. Germ. S.I. Kasavina. Moscow: Republic, 1996. 448 p.
- [47] **Gavrilova TA, Strakhovich EV.** Visual analytical thinking and mind maps for ontology engineering [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(1): 87-99. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [48] **Kolchin AF, Ovsyannikov MV, Strekalov AF, Sumarokov SV.** Product lifecycle management [In Russian]. Moscow: Anakharsis, 2002. 303 p.
- [49] **Borgest NM.** Ontology of designing [In Russian]. 2nd ed., Rev. and add. Samara: Publishing house "New technology", 2014. - 280 p.
- [50] **Borgest NM.** An introduction to ontology of designing [In Russian]. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 140 p.
- [51] **Borgest NM, Simonova EV, Shustova DV.** Ontological analysis of the solution of design problems by examples [In Russian]. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 144 p.
- [52] **Borgest NM.** Boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing.* 2017; 7(1): 7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [53] **Willis Anne-Marie.** Ontological designing. *Design Philosophy Papers.* 2006, p.80-98.
- [54] **Borgest NM.** Key terms of the ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing.* 2013; 3(9): 9-31.
- [55] **Borgest NM.** Ontological approach to the formation of an assessment of subjects, organizational structures and the results of scientific activity [In Russian]. VII International Conference "Knowledge - Ontology - Theories (ZONT-2019)". 2019. P.57-65.
- [56] **Fry Tony.** Design Futuring: Sustainability, Ethics, and New Practice (2009); Design as Politics (2011); Becoming Human by Design (2012). Berg Publishers.
- [57] **Lefebvre VA.** Conflicting structures [In Russian]. 2nd ed. Moscow: Higher school, 1973. 158 p.
- [58] **Novikov AM, Novikov DA.** Scientific research methodology [In Russian]. Moscow: URSS, 2015. 272 p.
- [59] **Novikov AM, Novikov DA.** Methodology [In Russian]. Moscow: SINTEG. 663 p.
- [60] **Belov MV, Novikov DA.** Structure of methodology of complex activity [In Russian]. *Ontology of designing.* 2017; 7(4): 366-387. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [61] **Agafonov AY.** Science of consciousness: unsolved problems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2014; 2(12): 8-18.
- [62] **Allakhverdyan AG, Moshkova GYu, Yurevich AV, Yaroshevsky MG.** Psychology of Science [In Russian]. Moscow: Moscow Psychological and Social Institute: Flinta, 1998. 312 p.
- [63] **Zagorulko GB.** Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains [In Russian]. *Ontology of designing.* 2016; 6(4): 485-500. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
- [64] **Zagorulko YuA.** Semantic technology for development of intelligent systems oriented on experts in subject domain [In Russian]. *Ontology of designing.* 2015; 5(1): 30-46.

- [65] **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.
- [66] **Vitruvius.** Ten books on architecture [In Russian]. Trans. by F.A. Petrovsky. Moscow, Publishing House of All. Academy of Architecture. (Series "Classics of Theory of Architecture"). 1936 - 331 p.
- [67] **Borgest NM.** Pattern recognition in designing artifacts is as metaphor and as an applied technology of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 19-29.
- [68] **Borgest NM.** Scientific basis for the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 1(7): 7-25.
- [69] **Borgest NM, Sergeeva TS.** Analysis of the parameters of complex systems when creating databases [In Russian]. Scientific and technical journal "Artificial Intelligence". 2013; 3(61): 332-336.
- [70] **Borgest NM, Kancher GS.** Design data synthesis of complex systems based on prototypes [In Russian]. Scientific and technical journal "Artificial Intelligence". 2013; 4(62): 273-276.
- [71] **Borgest NM, Korovin MD.** Ontologies: current status, an overview [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2(8): 49-55.
- [72] **Burakova EE, Borgest NM, Korovin MD.** Ontology description languages for technical subject areas [In Russian]. Bulletin of SSAU. 2014; 3(45): 144-158.
- [73] **Al-Aswadi FN, Chan HY, Gan K.H.** Automatic ontology construction from text: a review from shallow to deep learning trend. *Artif Intell Rev* 53, 3901–3928 (2020).
- [74] **Muhammad A, Muhammad W, Usman G, Waqar M.** A survey of ontology learning techniques and applications. Database The Journal of Biological Databases and Curation. 2018. 1–24. 10.1093/database/bay101.
- [75] **Borgest NM, Gromov AIA, Gromov AnA, Moreno RH, Korovin MD, Shustova DV, Odintsova SA, Knyazhina YE.** Robot-designer: fantasy and reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 4(6): 73-94.
- [76] **Borgest NM, Vlasov SA, Gromov AIA, Gromov AnA, Korovin MD, Shustova DV.** Robot-designer: on the road to reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 429-449. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [77] **Borgest NM, Gromov AA, Tarabaeva AI.** Determination of the mass of aircraft parts based on a parametric 3D model at the stage of technical proposals [In Russian]. Bulletin of SSAU. 2013; 1(39): 55-62.
- [78] **Borgest NM, Gimatdinova SR, Shustova DV.** Hierarchical and associative links between terms in the thesaurus using the example of the designer's dictionary [In Russian]. Bulletin of SSAU. 2012; 2(33): 228-236.
- [79] **Borgest NM, Aksanyan PA, Aleev RKh, Gromov AA.** Automated formation of a 3D aircraft model at the stage of technical proposals [In Russian]. Bulletin of SSAU, 2012; 4(35): 139-148.
- [80] **Borgest NM, Gimatdinova SR, Shustova DV.** Automated filling of the project matrix based on ontology [In Russian]. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012; 14(6): 227-232.
- [81] **Borgest NM.** Ontology of airplane designing [In Russian]. Scientific and technical journal "Artificial Intelligence". 2011; 4: 260-265.
- [82] **Borgest NM.** The future of the university: the ontological approach. Part 1: History, prediction model [In Russian]. *Ontology of designing*. 2011; 1(2): 66-79.
- [83] **Borgest NM.** The future of the university: the ontological approach. Part 2: Essence, motivation, project training [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 1(3): 87-105.
- [84] **Borgest NM.** The future of the university: the ontological approach. Part 3: Automation of business processes [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 1(7): 87-105.
- [85] **Borgest NM.** Principles of management of the university on the basis of self-organization [In Russian]. Proceedings of the international conference "Problems of control and modeling in complex systems", IPUSS RAN, Samara, 2011. P.391-400.
- [86] **Borgest NM.** The future of the university: the ontological approach [In Russian]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 112 p.
- [87] **Borgest NM.** Ontology of designing of Super Smart Society: Entities, Concepts, Problems [In Russian]. Proceedings of the international conference "Problems of control and modeling in complex systems", IPUSS RAN, Samara. 2019. Vol.2. P.9-14.
- [88] **Borgest NM.** Management processes in society: ontological dominants and information technologies [In Russian]. Proceedings of the international conference "Problems of control and modeling in complex systems", IPUSS RAN, Samara, 2015. P.181-191.
- [89] **Borgest NM.** Problems in the information high-tech society: the experience of one trip [In Russian]. Information technology and systems. 2015. P.104-106.
- [90] **Rzhevsky G, Knezevik D, Skobelev PO, Borgest NM, Simonova EV, Lakhin OI.** A new approach to lifecycle management of aerospace products using complexity theory [In Russian]. *Mechatronics, automation, control*. 2016; 17(4): 282-288. DOI: 10.17587/mau.17.282-288.
- [91] **Borgest N, Korovin M.** On the question of the basic ontology of engineering enterprise [In Russian]. *Bionics of Intellect*, 2013; 1 (80): 128-132.

- [92] **Rzevski G, Knezevic J, Skobelev P, Borgest N, Lakhin O.** Managing aircraft lifecycle complexity. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. WIT Press, 2016; 11, 2: 77-87. DOI 10.2495/DNE-V11-N2-77-87.
- [93] **Borgest N, Orlova A.** Ontological modeling of satellite's manufacturing work flow instruction. 6th Russian-German Conference on Electric Propulsion and Their Application. *Procedia Engineering* 2017; 185: 146–152.
- [94] **Borgest N, Orlova A.** Ontological modeling of flight preparation manual. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2017; 93(1): 105-107. DOI: 10.15199/48.2017.01.25.
- [95] **Borgest NM, Budaev DV, Travin VV.** Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 423-442. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [96] **Borgest NM, Galakhar AS, Ovsyannikov MV, Samsonov RO.** Pre-project analysis of an intelligent residential building for Arctic conditions [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(1): 85-100. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-85-100.
- [97] **Korovin M, Borgest N.** Multi-agent approach towards creating an adaptive learning environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. P.216-224.
- [98] **Borgest N, Korovin M.** Ontological approach towards semantic data filtering in the interface design applied to the interface design and dialogue creation for the “Robot-aircraft designer” informational system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 534. P.93-101.
- [99] **Malochkina A, Borgest N.** Information support in education process of an ontology design. *Advances in Computer Science Research*. 2017. Vol. 72. P.404-407.
- [100] **Flores Kh, Borgest N.** Classification of Objects for Conceptual Design: An Ontology Based Approach. *Advances in Computer Science Research*. 2017. Vol. 72. P.393-396.
- [101] **Orlova AA, Borgest NM.** Text verification instruction manual using the ontologies. *Proceedings of the 2016 Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM)*. 2016. Vol. 51. P. 238-241.
- [102] **Borgest NM, Korovin MD.** Formalization Of Design Procedures In The Engineer's Educational Strategy. *Proceedings of the 2016 Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM)*. 2016. Vol. 51. P. 524-527.
- [103] Time, Space, Complexity. Posted on September 30, 2020. <https://headbirths.wordpress.com/2020/09/30/time-space-complexity/>.
-

About the author

Nikolay Mikhailovich Borgest (b. 1954) graduated from the Korolyov Aerospace Institute (Kuibyshev-city, USSR) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara University (Department of construction and design of aircraft). He is a member of Russian Association of Artificial Intelligence and International Association for Ontology and its Applications. He is a co-author of about 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. Author ID (RSCI): 9142; Author ID (Scopus): 6603474810; Researcher ID (WoS): B-4793-2014. borgest@yandex.ru.

Received 16.11.2020. Accepted 25.12.2020.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК: 004.912: 81'33

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-449-462

Компьютерный анализ эмоциональной компоненты научных публикаций на примерах в физике и экономике**В.С. Крылов¹, А.А. Кудрявцев², Л.Н. Абдурайимов¹**¹Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, Симферополь, Россия²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия**Аннотация**

Представлены результаты применения системы автоматизированного извлечения и визуализации метаданных эмоциональности текстов научных публикаций в области инновационных исследований в физике и экономике. В физике рассматриваются работы по прямому преобразованию светового излучения в электрическую энергию на основе фотоплазмы - эффекта возникновения разности потенциалов в плазме щелочных металлов. В этой области практически завершён этап научно-исследовательских работ, и происходит переход к опытно-конструкторским работам с последующей оценкой экономической эффективности производства и эксплуатации фотопреобразователей на основе фотоплазмы. Такие метаданные необходимы для разработки и внедрения в практику систем интеллектуального анализа новостных текстовых данных, аналитических публикаций для повышения эффективности прогноза и оценки перспектив развития в разных сферах, например, в финансово-экономической деятельности для прогноза котировок на рынке ценных бумаг. В работе приведены примеры сентимент-анализа и его визуализация экономических научных текстов и текста из области исследований газоразрядной плазмы. Инструментальные методы эмоционального анализа текстов реализованы на языке R, который позволяет в короткий срок формировать необходимые пакеты программ анализа текстов не только профессиональным программистам, но и аналитикам.

Ключевые слова: компьютерный анализ текстов, сентимент-анализ, эмоциональная компонента, физика плазмы, цифровая экономика, R-программирование, искусственный интеллект.

Цитирование: Крылов, В.С. Компьютерный анализ эмоциональной компоненты научных публикаций на примерах в физике и экономике / В.С. Крылов, А.А. Кудрявцев, Л.Н. Абдурайимов // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №4(38). – С.449-462. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-449-462.

Введение

Компьютерный анализ текстов позволяет получить новые, не лежащие на поверхности, знания. Научные тексты представлены профессиональным языком, который является специфическим подмножеством естественного базового языка (ЕЯ) общения. Поэтому его синтаксис, грамматика и наборы слов получают эмоциональные оценки с точки зрения базового языка. Эмоционально окрашенные названия характеристик объектов или процессов зачастую специально присваиваются, чтобы подчеркнуть их особенность. Например, в физике элементарных частиц некоторые характеристики получили явно эмоциональные названия: «странность», «очарование», «цвет» и т.д. Похожее происходит и в других разделах физики, в т.ч. и в физике плазмы. Так, первоначально воспринимавшееся эмоционально окрашенным название явления в газоразрядной пылевой плазме – плазменный кристалл, оказалось не метафорой, а реально наблюдаемой упорядоченной структурой.

В экономике и финансах получают вполне эмоционально окрашенные названия показателей состояния, например, рынков ценных бумаг – «голубые фишки», «золотая акция» и т.п. Математики очень часто используют эстетические эмоциональные оценки в отношении получаемых результатов, такие как: красивое, прозрачное (доказательство, ...) и т.д. Поэтому востребована разработка инструментов многостороннего анализа текстов, в том числе, инструменты анализа их эмоциональной компоненты.

Технология сентимент-анализа (СА) широко используется корпорациями, которые владеют брендами для анализа социальных медиа с целью оценки коммерческих результатов. Обзор предлагаемых приложений СА представлен в [1]. Считается, что имеется возможность не только оценить тональность высказываний о бренде, но и получить целый ряд дополнительных инструментов управления социальной аудиторией, интересующейся брендом, установления контактов, обмена информацией, влияния на социальный контент, поиска лидеров мнений социального сообщества и снабжения их информацией для привлечения к продвижению бренда. Подобные системы малоприспособлены для целей СА научных публикаций, в связи с тем, что они узкоспециализированы и с закрытым кодом. Последнее не позволяет их адаптировать для решения задач интеллектуального анализа текстов научных публикаций. Значительная часть этих систем является платной, а предлагаемый функционал предварительно бесплатного использования малоприспособлен для анализа текстов на этапах научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) [1, 2].

В тоже время, платформа *R*-языка содержит пакеты программ, которые позволяют собирать алгоритмы анализа текстов, ориентированных на решение поставленных аналитиками конкретных исследовательских задач. В данном случае разработка алгоритмов анализа и их реализация во многом похожа на экспериментальные исследования, например, в физике плазмы газового разряда: установка для исследований собирается из готовых компонент и дополняется нестандартным оборудованием [3].

С появлением широко используемых открытых данных о методах обработки ЕЯ можно легко сравнивать различные доступные наборы инструментов аналитиков, которые позволяют выполнить обработку текстов ЕЯ, в том числе и текстов научных публикаций [4-6].

На платформе *R*-языка предлагается несколько пакетов программ с открытым кодом:

- *textrank* - составление резюме текста;
- *crfsuite* - распознавание сущностей, разбиение на части и моделирование последовательности;
- *BTM* - тематическое моделирование битермов или очень коротких текстов (например, ответы на опрос / данные твиттера);
- *ruimtehol* - нейронные текстовые модели, нейронные модели для категоризации текста, встраивания слов/предложений/документов, рекомендаций по документам, завершения ссылок на объекты и внедрения объектов);
- *udpipe* - общий пакет обработки текстов ЕЯ для токенизации, лемматизации, тегов частей речи, морфологических аннотаций, синтаксического анализа зависимостей, извлечения ключевых слов и потоков;
- *tidytext*: - функция *unnest_tokens()* предварительно переводит текст в упорядоченный *tidy* формат, который позволяет выделить эмоциональную компоненту текста с помощью специальных словарей.

Пакеты программ позволяют получить не только многостороннюю качественную оценку эмоциональной компоненты, но и её количественную характеристику грамматических и синтаксических структур [7, 8]. Например, с помощью разработанных алгоритмов на основе *R*-пакетов программ была изучена тональность в текстах писем крупнейшего в мире инвестора У.Э. Баффетта акционерам за период с 1977 по 2016 год [8, 9].

Цифровая экономика - новый этап развития информационного общества, в котором экономические отношения основываются на новых методах генерирования, обработки, хранения, передачи данных. Здесь возникают проблемы извлечения необходимой для конкретной деятельности информации из информационных потоков очень больших объёмов. Например, пока не решена задача по установлению связи и прогноза влияния эмоционально окрашенных текстов экспертов на котировки ценных бумаг на финансовых рынках [10, 11].

Экономический кризис во многом «обнулil» все прогнозы экономического развития [12]. Глава международного валютного фонда эмоционально оценила перспективы развития экономики в условиях кризиса, в том числе обусловленного и пандемией Covid-19: «экономические прогнозы, перевернулись «с ног на голову» и мировая экономика вместо роста будет сокращаться» [12, 13].

В условиях выхода из кризиса экономики большое значение имеют инновации – научные открытия, изобретения, которые имеют практическое применение и удовлетворяют социальным, экономическим требованиям, которые дают эффект в соответствующих сферах деятельности [14, 15]. Плазменные технологии газового разряда являются одним из важнейших инновационных направлений во многих областях практического применения [3]. Например, инновационные системы генерации электроэнергии на основе плазмы газового разряда (фотоплазмы), которые из стадии НИР переходят в ОКР, могут кардинально изменить глобальные и региональные рынки солнечной энергетики. Причём они позволят отказаться от льготного налогообложения и специальных зелёных тарифов [16]. СА такого инновационного объекта должен включать в себя метаданные как для оценки научной или технической новизны инновационного объекта, так и метаданные оценки эмоциональности его экономико-финансовых свойств [17]. Эти метаданные могут стать важным показателем оценки этапа перехода от НИР к ОКР и прогноза внедрения инновационных разработок.

Цель работы – представить результаты интеллектуального анализа и визуализации компонентов текстов научных публикаций из области экономической теории и инновационных исследований преобразования световой энергии в электрическую с помощью газоразрядной плазмы (фотоплазмы).

1 Автоматизированный анализ естественных профессиональных текстов

Сообщество разработчиков программ для научных исследований, в том числе и текстов, предлагают инструменты извлечения, анализа и визуализации данных для широкого круга исследователей [4, 7, 18]. С их помощью проведено исследование по автоматизированному извлечению и взаимосвязи ключевых терминов из правительственных документов, выпущенных в 2013-2018 годах и связанных с направлением «цифровая экономика» [10]. Исследование было выполнено с помощью графоориентированных методов алгоритма, реализованного в пакете *textrank*. Выбранный алгоритм был протестирован на 13 правительственных документах. В результате анализа каждого текста были построены взвешенные графы семантических связей между ключевыми словами, на основании которых были выделены ключевые термины.

Существующие доступные пакеты программ анализа текстов позволяют решать определённый круг исследовательских задач. Однако в конкретном исследовании всегда возникают проблемы, которые не могут быть решены в представленных пакетах программ. Эти проблемы позволяет решить платформа программирования, на которой можно либо провести модификацию программы для решения исследовательской задачи, либо дополнить программами из других пакетов, не требуя от аналитика высокого уровня квалификации в программировании для разработки и использования инструмента в решении поставленной задачи.

Платформа программирования *R* обладает этими качествами. Она широко используется для работы с самыми разнообразными данными, визуализации данных, анализа текстов и представляет собой наборы разнообразных универсальных инструментов, из которых можно формировать требуемые наборы инструментов анализа. Платформа *R* включает в себя мощные вычислительные и графические возможности получения и визуализации результатов исследований [18].

R-язык является простым и эффективным инструментом для статистического анализа данных, анализа текстов, использования методологии объектно-ориентированного программирования, а также функционального программирования и других парадигм программирования систем анализа данных. Ведущие научно-исследовательские центры и университеты мира, аналитики крупнейших компаний широко используют разработанные пакеты программ на языке *R* для анализа больших данных и реализации крупных информационных проектов анализа текстов [18, 19].

Тексты научных публикаций, монографий, учебных пособий, также как и обычные неструктурированные литературные тексты, содержат много слов и знаков, затрудняющих последующий содержательный анализ и получение метаданных, в том числе об эмоциональной компоненте. Существуют разнообразные алгоритмы извлечения метаданных из текстов, реализованные в различных пакетах программ для решения задач исследования текстов [4, 18, 20]. Можно выделить общий для всех типов текстов алгоритм анализа, который состоит из следующих шагов:

- 1) извлечение данных,
- 2) очистка и предобработка,
- 3) представление, фильтрация и взвешивание,
- 4) результаты.

Блок-схема типичного алгоритма анализа текста представлена на рисунке 1.

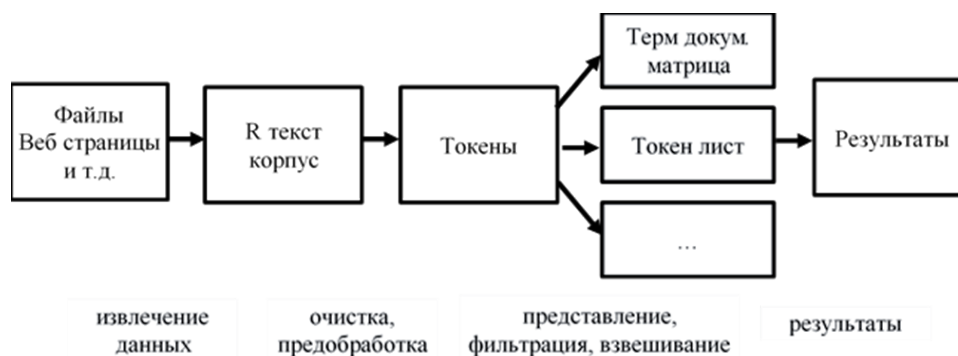


Рисунок 1 - Блок-схема типичного алгоритма анализа текста

Очистку текстов и приведение их к определённому типу представления можно выполнить специализированными пакетами программ. Разработанный на *R*-платформе пакет *tidytext* совместим с рядом других пакетов анализа текстов, позволяет выбирать и объединять в единый инструмент необходимые для решения конкретных задач модули. Этот пакет является основой для широко используемых инструментов компьютерного анализа текстов [4, 5]. В пакете осуществляется очистка текстов и представление их в форме фреймов из отдельных слов, пар слов и целых предложений или абзацев. Представление фреймами даёт возможность эффективно обрабатывать, обобщать и визуализировать характеристики текста, интегрировать обработку ЕЯ в эффективные рабочие процессы анализа.

Следует отметить, что эмоциональная компонента всегда присутствует в любом тексте. Не исключением являются тексты научных публикаций, монографий и документов, напри-

мер, таких как теоретические исследования холодной плазмы или исследования в сфере финансов и экономики. Так, действующий на бирже агент, обозначенный Адамом Смитом как *Homo economicus*, представляет собой холодную, лишённую эмоций расчётливую личность, которая использует исключительно интеллект, а не эмоции для принятия решений. Однако оказалось, что ключевые решения о финансах принимаются, в том числе, структурами мозга, ответственными за эмоции [21]. Иначе говоря, любая система искусственного интеллекта, разработанная для семантического анализа потоков публикаций и документов, в обязательном порядке должна учитывать эмоциональную компоненту их содержания. Особенно ярко эмоциональная компонента оценки научного сообщения по результатам исследования проявляется в обсуждениях на конференциях и форумах в социальных сетях.

Для оценки эмоциональности необходимы специальные словари, или лексиконы. В них каждое слово относится к той или иной эмоции. В представленной работе использовались следующие лексиконы [4, 7]:

- *bing* от Бин Лю и сотрудников,
- *nrc* от Саифа Мухаммеда и Питера Терни,
- *loughran* Лафрана и Макдоналда.

Лексиконы основаны на униграммах (отдельных словах) и содержат много английских слов, которым присваиваются баллы за позитивные/негативные эмоции, а также, например, за такие эмоциональные оценки, как радость, гнев, грусть и т.д. Лексикон *nrc* классифицирует слова в двоичном варианте (да/нет) в категориях: положительной, отрицательной, гнев, ожидание, отвращение, страх, радость, печаль, удивление и доверие. Лексикон *bing* классифицирует слова в двоичном представлении на положительные и отрицательные категории. Лексикон *loughran* ориентирован на финансовую лексику. В нём оценки эмоциональности, в сравнении с другими словарями, менее категоричны, более обтекаемы. Считается, что положительные оценки указывают на позитивные, а отрицательные - на негативные настроения. Эта информация сводится в таблицу набора данных, а пакет *tidytext* предоставляет функцию `get_sentiments()` для получения определённой лексики настроения [4, 8].

Основанные на лексиконах методы определяют общее настроение фрагмента текста, составляют индивидуальные оценки настроения для каждого слова в тексте. Лексиконы эмоциональности были составлены и проверены либо с помощью краудсорсинга, либо с помощью кропотливого труда и проверкой с использованием некоторой комбинации краудсорсинга на основании авторских обзоров впечатлений от ресторанов или кинофильмов, либо данных *Twitter* и т.д. Отсюда следует, что в выводах в оценке эмоциональности следует учитывать отличия профессиональных текстов от материалов, на котором лексиконы были проверены. В настоящее время это единственный способ измерить содержание настроений для слов, общих для лексикона и текста базового языка, например, литературных произведений [4]. Полученные с их помощью результаты следует понимать как оценку восприятия профессионального текста обычным человеком. Для оценки восприятия специалистом необходимо выполнить специальное исследование и работу по каждому профессиональному языку.

СА информационных потоков имеет большой потенциал применения для мониторинговых, аналитических и интеллектуальных систем, систем документооборота и рекламы, специализированных по тематике веб-страниц и т.д. Основанные на лексиконе методы позволяют определить общее настроение фрагмента текста, складывая индивидуальные оценки настроения для каждого слова в тексте [4, 8, 11].

Не каждое слово попадает в специализированный лексикон, потому что многие слова достаточно нейтральны. Методы, основанные исключительно на униграммах, не учитывают квалификаторы перед словом, например, «не хорошо» или «не соответствует действительности». Для многих видов текста не существует устойчивых методов различения сарказма от

негативного текста. В этом случае можно использовать подход с очищенным упорядоченным форматом для того, чтобы начать понимать, какие слова отрицания важны в данном тексте. Размер фрагмента текста, который используется для суммирования оценок настроения по отдельным словам, может повлиять на конечный результат анализа. В целом текст с множеством абзацев часто может иметь положительное или отрицательное к нему отношение, усреднённое примерно до нуля, в то время как текст размером с предложение или размером с абзац часто будет отличаться от общей оценки [4].

Положительное или отрицательное значение слова может зависеть от контекста. Слово «риск» имеет отрицательное значение в большинстве общих контекстов, но может быть более нейтральным для финансовой отчётности. Контекстно-специфические лексиконы настроений, такие как словарь *loughran* Лафрана-Макдональда, даёт возможность решить эту проблему. Предлагаемая финансовая лексика обозначает слова с шестью возможными чувствами [7, 18].

В [8, 22] представлены результаты анализ тональностей в текстах писем У.Э. Баффетта акционерам за период с 1977 по 2016 год. Использовался метод выявления и количественной оценки общего настроения текста писем - определение того, насколько положительным или отрицательным в целом является конкретный текстовый документ. Для этого текстовый документ разбивался на набор отдельных слов, а затем для каждого слова определялось, является ли оно положительным, отрицательным или нейтральным с помощью лексикона оценки эмоциональности *bing*. Вычислялся коэффициент тональности как отношение количества положительных слов минус количество отрицательных слов к общему количеству слов. В целом письма У.Э. Баффетта оценивались как положительные. За сорок лет только пять писем получили отрицательную чистую оценку настроения. Как оказалось, эти отрицательные оценки тесно связаны с крупными негативными экономическими событиями.

2 Сентимент-анализ экономических научных текстов

С помощью предлагаемых платформой *R*-пакетов анализа текстов был «собран» алгоритм комплексного анализа текстов. В общую схему (рисунок 1) были включены модули: создание корпуса выбранной предметной области (пакет *tm*), приведение текста к упорядоченному формату (пакеты *tidytext*), визуализация промежуточных и окончательных результатов анализа, построение семантических сетей (пакеты *ggraph* и *igraph*).

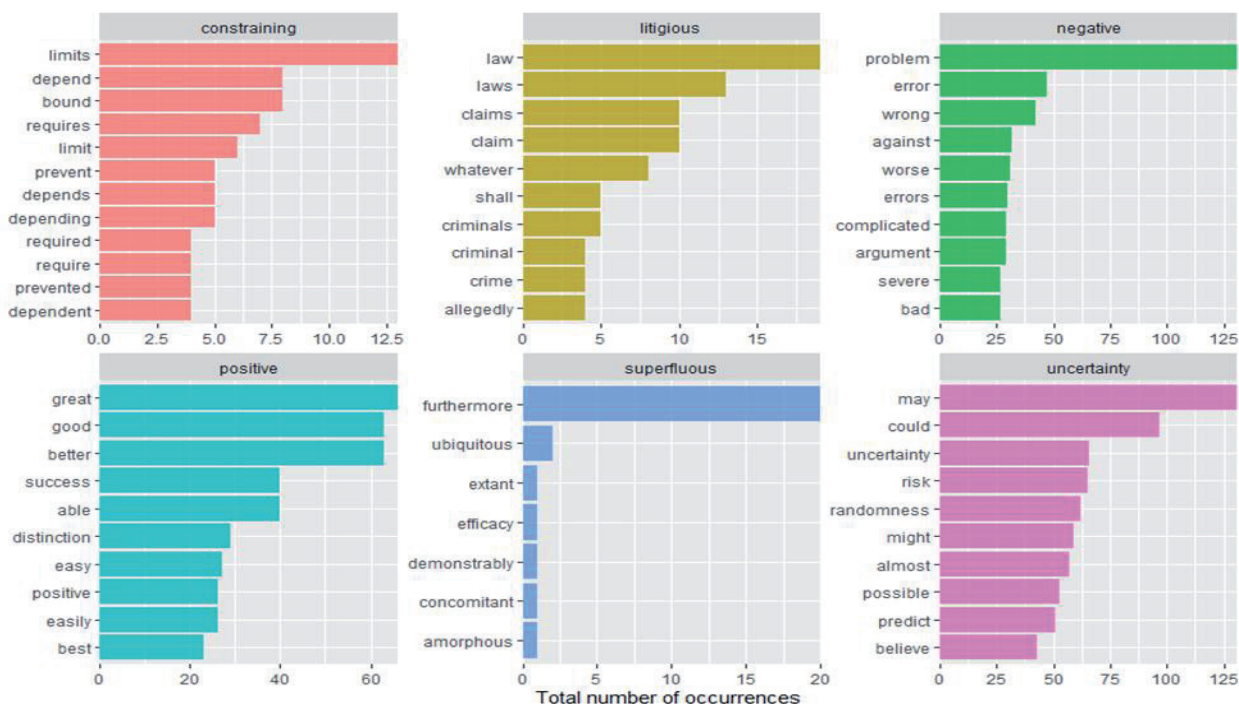
Набор пакетов *R*-платформы позволяет программно реализовать алгоритм разработки терминологических онтологий для различных предметных областей [23].

На рисунках 2, 3 приведены некоторые сравнительные результаты применения программных модулей эмоциональной оценки текстов двух значимых для экономической теории и практики финансов книг [24] и [25]. На рисунке 2 представлена визуализация результатов распределения слов книг по категориям. Из рисунка 2 видно, что слова с идентичной эмоциональной оценкой имеют разные частоты встречаемости.

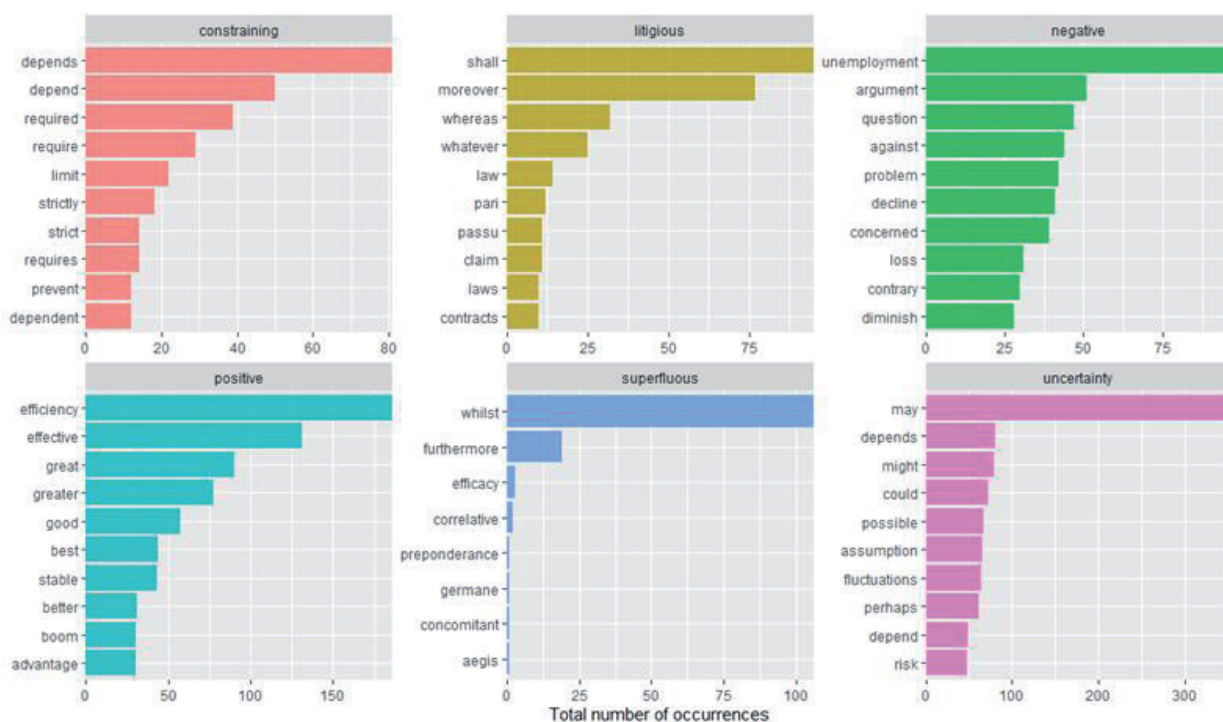
Рассмотренный пример эмоционального анализа содержания для каждой книги может быть представлен облаком слов - визуальное представление эмоциональности списка категорий слов (рисунок 3). В данном случае эта визуализация показывает отдельные слова, а важность каждого слова обозначается размером шрифта и цветом. Такое представление удобно для быстрого целостного восприятия наиболее часто встречающихся терминов и для представления распределения терминов по частоте встречаемости относительно друг друга.

На рисунке 3 представлено распределение положительных и отрицательных слов. Размер слова на рисунке пропорционален его частоте в пределах его эмоционального настроения. На

этой визуализации видно, какие из слов самые важные с их положительной и отрицательной оценкой. Следует отметить, что размеры слов не отражают оценки их эмоциональности.



a)



b)

Рисунок 2 – Распределение слов по категориям эмоциональности лексикона *loughran*, проведённый по текстам книг: а) Нассим Талеб «Черный лебедь» [24] и б) Джон Мейнард Кейнси «Общая теория занятости, процента и денег» [25]

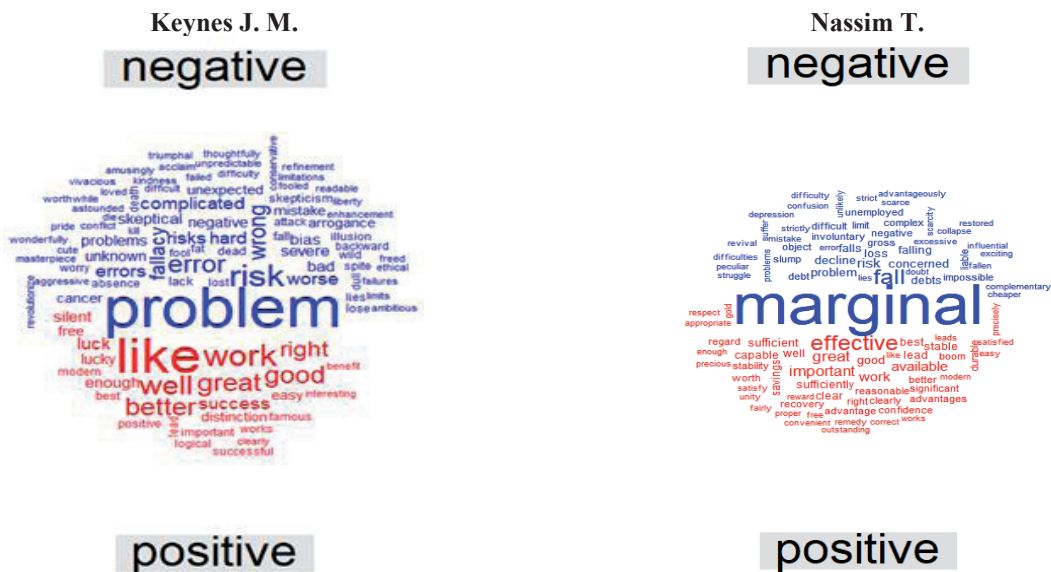


Рисунок 3 - Наиболее распространённые положительные и отрицательные слова текстов книг: Нассим Талеб «Черный лебедь» [24] и Джон Мейнард Кейнси «Общая теория занятости, процента и денег» [25]

3 Сентимент-анализ текста из области инновационных исследований газоразрядной плазмы

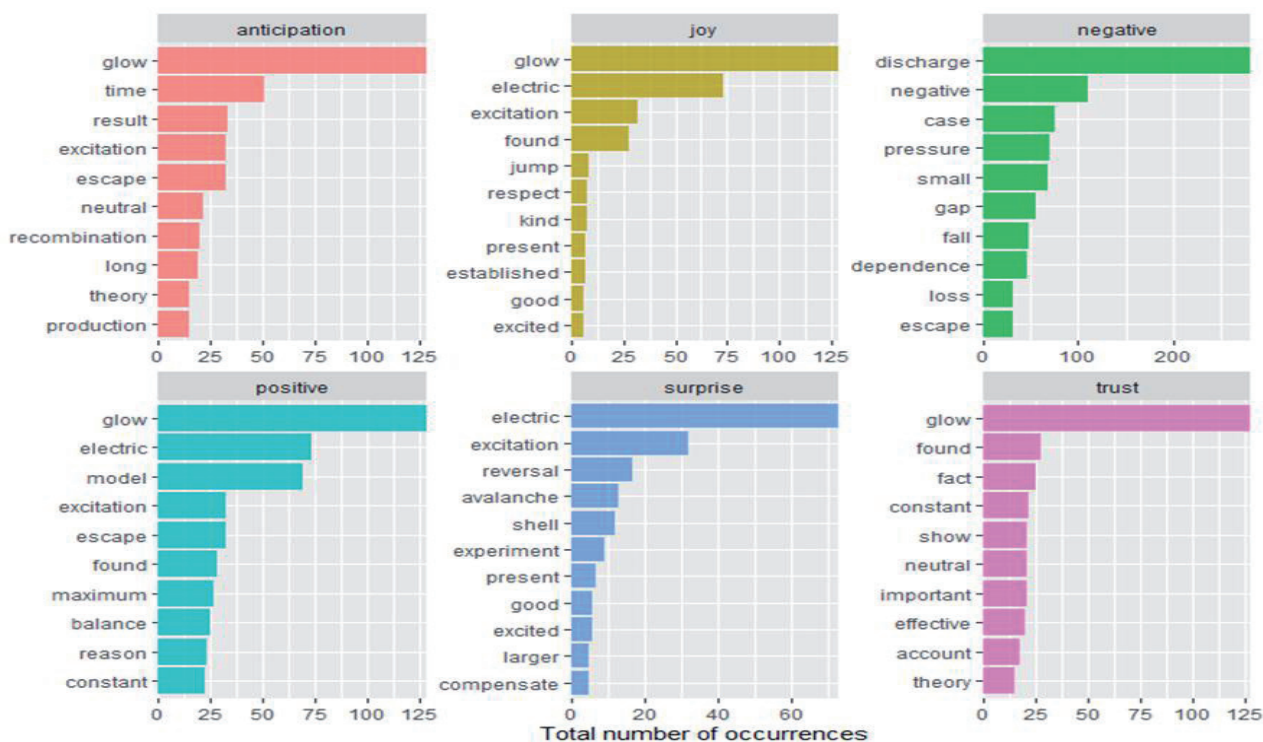
Результаты анализа эмоциональности текста по направлению теоретических исследований газоразрядной плазмы представлены на примере одной из самых современных монографий [3]. Эмоциональная компонента оценивалась с помощью лексиконов *nrc* и *loughran*. Последний ориентирован на финансовую лексику. То есть в данном случае представленный текст получает оценку с позиций финансиста, экономиста или бухгалтера. И если слово «отрицательный» в тексте публикации из области исследований газоразрядной плазмы не соответствует негативной эмоции, то оценка с помощью лексикона *loughran* указывает скорее на негативные настроения, положительный заряд - на позитивные настроения.

На рисунке 4а представлена визуализация результатов распределения слов книги по указанным базовым эмоциональным категориям лексикона *nrc*, а на рисунке 4б - распределения слов по эмоциональным категориям, отнесённым к финансам и экономике.

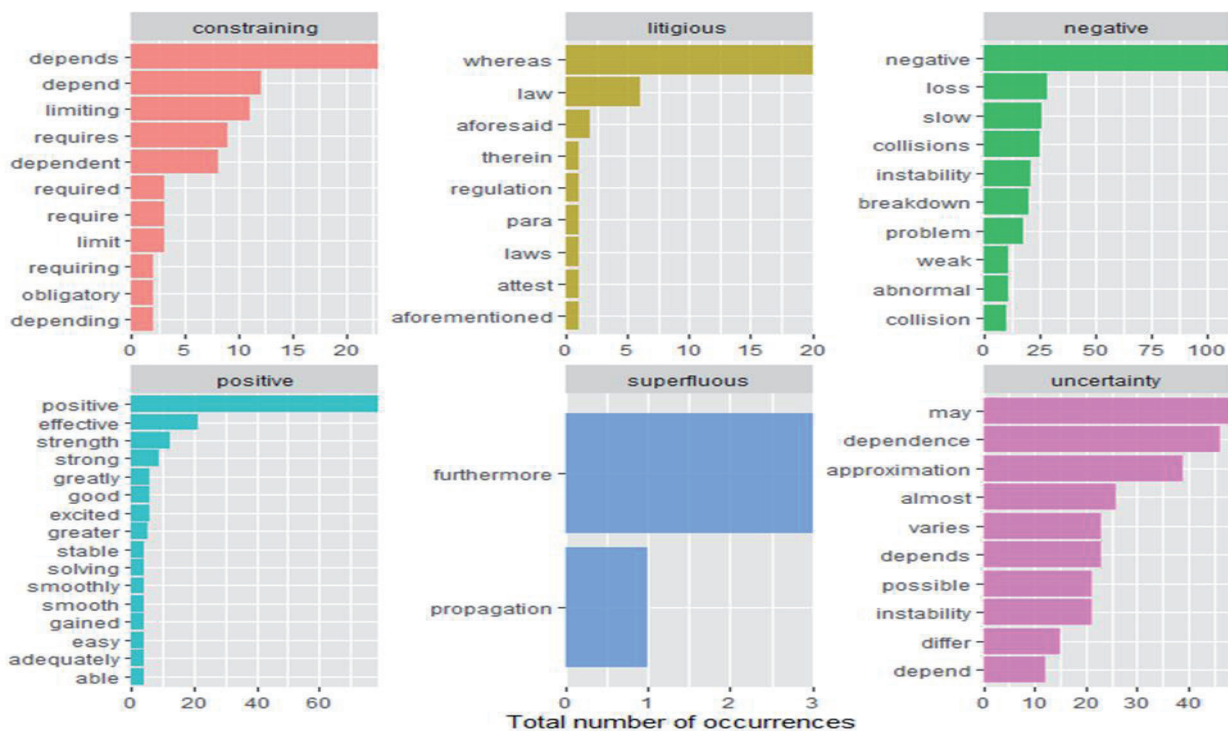
Лексикон *loughran* специально формировался для оценки эмоциональности текстов из области финансов и экономики. В настоящее время отсутствуют лексиконы для СА эмоциональности текстов научно-технического направления, в том числе текстов публикаций, связанных с тематикой исследований газоразрядной плазмы. Поэтому оценку эмоциональности таких текстов лексиконом *loughran* надо рассматривать как первый шаг в понимании того, каким должен быть лексикон оценки публикаций об инновационных объектах и процессах.

На рисунке 5 представлены гистограммы слов, которые соответствуют позитивным и негативным настроениям согласно категориям лексикона *bing*.

На этих гистограммах отчётливо видно, что наиболее часто встречаются слова «отрицательный» (*negative*) и «свечение» (*glow*). Эти слова являются «визитной карточкой» представленного в книге направления исследования плазмы. В данном случае слово «отрицательный» несёт негативную эмоциональную оценку только в обычных текстах. В данном случае это слово является эмоционально нейтральным и означает знак заряда электрона (он отрицательный) и отрицательных зарядов в плазме. Термин «свечение» также эмоционально нейтрален и соответствует излучению плазмы в видимой части спектра.



а)



б)

Рисунок 4 - Распределение слов в книге [3]: а) по категориям эмоциональности лексикона *nrc*, б) по эмоциональным категориям, отнесенным к финансам и экономике

На рисунке 6 представлено облако слов, которое даёт визуальное представление эмоциональности слов по их положительной и отрицательной оценке. Размер слова пропорционален

его частоте в пределах его настроения. На этой визуализации видны самые важные положительные и отрицательные слова.

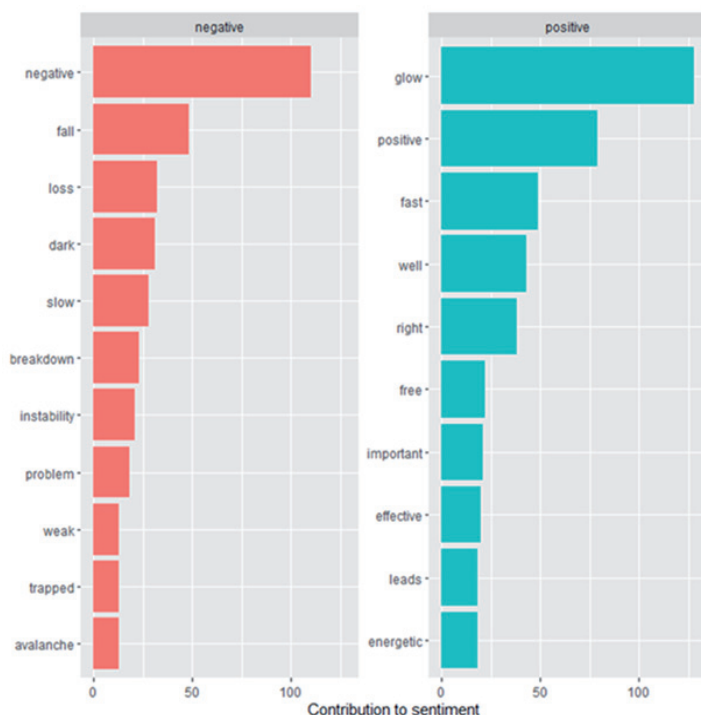


Рисунок 5 - Слова, которые соответствуют позитивным и негативным настроениям в книге [3]

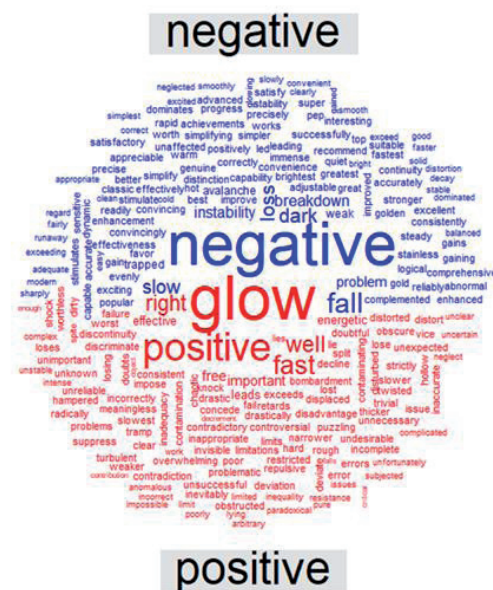


Рисунок 6 - Наиболее распространённые положительные и отрицательные слова в тексте книги [3]

Заключение

Компьютерный анализ эмоциональных оценок результатов научных исследований позволяет получить метаданные, которые не видны непосредственно в исходных текстах публикаций. Эти метаданные представляют не только исходные данные для систем искусственного интеллекта, но и создают новое интуитивное представление о предмете исследования. Они необходимы для повышения эффективности прогноза перспектив развития разных сфер финансово-экономической деятельности, например, котировок рынка ценных бумаг. Кроме того, они играют важную роль в разработке и внедрении интеллектуальных информационных систем.

Список источников

- [1] Прохоров, А. Сентимент-анализ и продвижение в социальных медиа / А. Прохоров, А. Керимов // КомпьютерПресс. 07/2012. - <https://compress.ru/article.aspx?id=23115#4>.
- [2] Практическое руководство. Анализ тональности и интеллектуальный анализ мнений // Документация по API Анализа текста. 04.12.2020. <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/cognitive-services/text-analytics/how-to/text-analytics-how-to-sentiment-analysis?tabs=version-3-1>.
- [3] Yuan, C. Introduction to the Kinetics of Glow Discharges (IOP Concise Physics) Kindle Edition / C. Yuan, A. Kudryavtsev, V. Demidov // Eurospan, 2019, - 168 p.
- [4] Silge, J. Text Mining with R. A Tidy Approach / J. Silge, D. Robinson. ISBN-13: 978-1491981658 - <https://www.tidytextmining.com/index.html>.

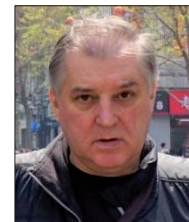
- [5] **Ward, B.** A Light Introduction to Text Analysis in R / B. Ward // Towards Data Science, May 3, 2019. - <https://towardsdatascience.com/a-light-introduction-to-text-analysis-in-r-ea291a9865a8>.
- [6] **Mihalcea, R.** TextRank: Bringing Order into Texts / Rada Mihalcea and Paul Tarau / University of North Texas. 8 p. - <https://web.eecs.umich.edu/~mihalcea/papers/mihalcea.emnlp04.pdf>
- [7] **Fridolin, W.** CRAN Task View: Natural Language Processing / W. Fridolin. Oxford Brookes University, UK. 2020-12-09. - <https://cran.r-project.org/web/views/NaturalLanguageProcessing.html>.
- [8] **Toth, M.** Sentiment Analysis of Warren Buffett's Letters to Shareholders / M. Toth. 20 March 2017. <http://michaeltOTH.me/sentiment-analysis-of-warren-buffetts-letters-to-shareholders.html>.
- [9] **Шрёдер, Э.** У. Баффет. Лучший инвестор мира: пер. с англ. / Э. Шрёдер. М.: Изд. «Манн, Иванов и Фербер», 2013. — 800 с. https://www.mann-ivanov-ferber.ru/assets/files/bookparts/warlife2/warlife_read.pdf.
- [10] **Милкова, М.А.** Извлечение ключевых терминов направления «Цифровая экономика»: графоориентированный подход / М.А. Милкова // Цифровая экономика. 4(4) 2018. – с.57-65. DOI: 10.34706/DE-2018-04-06. http://digital-economy.ru/images/easyblog_articles/524/DE-2018-04-06.pdf.
- [11] **Андрианова, Е.Г.** Роль методов интеллектуального анализа текста в автоматизации прогнозирования рынка ценных бумаг / Е. Г. Андрианова, О. А. Новикова // Cloud of Science, 2018. Т.5. № 1, с.196–206
- [12] **Георгиева, К.** Экономические прогнозы перевернулись «с ног на голову»: мировая экономика в этом году начнет резко сокращаться / К. Георгиева: Новости ООН, 9.04.2020. - <https://news.un.org/ru/story/2020/04/1375882>.
- [13] World Economic Situation and Prospects 2020. United Nations. New York, 2020. 236 p. https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/WESP2020_FullReport_web.pdf.
- [14] **Глазьев, С.Ю.** Управление развитием экономики / С. Ю. Глазьев. Факультет государственного управления МГУ. 2019. - 759 с. - https://aurora.network/images/Учебник_файл.pdf.
- [15] **Лесков, С.** Академик Александр Дынкин: Нефть, бриллианты и мозги - главная ценность по всему миру. Известия, 13.03.2009. - <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=f650b9ec-befd-4f49-be03-c07fbb1b87fd>.
- [16] **Крылов, В.С.** Перспективы и тенденции развития солнечной энергетики в условиях кризиса / В.С. Крылов, А.А. Кудрявцев, Н.Б. Косых // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, 2020, № 2(68), с.124-131.
- [17] **Крылов, В.С.** R: компьютерный анализ эмоциональности текстов статей исследований холодной плазмы / В.С. Крылов // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. – Симферополь, 2019. № 2 (24) – с. 129-136.
- [18] **Wickham, H.** R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data / H. Wickham, G. Grolemund. 1st Edition. ISBN-13: 978-1491910399 - <https://r4ds.had.co.nz/>.
- [19] Top 63 Software for Text Analysis, Text Mining, Text Analytics: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-software-for-text-analysis-text-mining-text-analytics/>.
- [20] BNOSAC Open Analytical Helpers. <https://www.bnosac.be/index.php/blog/84-starspace-for-nlp-nlproc>.
- [21] **Крылов, В.С.** Homo economicus Адама Смита не холодный и не расчётливый интеллект / В.С. Крылов // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере: тез. док. IV Всеукраинской науч.-практ. конф. – Симферополь, КРП Крымчупедгиз, 2010. – С.50 – 51.
- [22] **Gebeyaw, M.** Parsing Text for Emotion Terms: Analysis & Visualization Using R / M. Gebeyaw // R bloggers. May 11, 2017. <https://www.r-bloggers.com/2017/05/parsing-text-for-emotion-terms-analysis-visualization-using-r/>.
- [23] **Ландэ, Д.В.** Подход к созданию терминологических онтологий / Д.В. Ландэ, А.А. Снарский // Онтология проектирования, 2(12), 2014, с. 83 -91.
- [24] **Nassim, T.** The black swan: the impact of the highly improbable / T. Nassim // Random House N.Y., 2007. 401 p.
- [25] **Keynes, J.M.** The General Theory of Employment, Interest, and Money / J. M. Keynes // Macmillan Cambridge University Press, for Royal Economic Society in 1936 <https://www.marxists.org/reference/subject/economics/keynes/general-theory/>.

Сведения об авторах



Крылов Владимир Сергеевич, 1952 г. рождения. Окончил Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова в 1976, к.б.н. (1993). Доцент кафедры прикладной информатики Крымского инженерно-педагогического университета. Специализируется в области информационно-коммуникационных технологий, междисциплинарных исследований приложений информационных технологий. Автор 2-х монографий и 3-х учебных пособий, более 120 статей и докладов на конференциях. Author ID (РИНЦ): 911682, ORCID: 0000-0003-3419-6307, ResearcherID (WoS): I-6750-2017. vs krylov@gmail.com.

Кудрявцев Анатолий Анатольевич, 1953 г. рождения. Окончил Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова в 1976, к.ф.-м.н. (1983). Доцент кафедры оптики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Специализируется в области физики газового разряда и плазмы. Автор 4 монографий и более 150 статей и докладов на конференциях. Author ID (РИНЦ): 20106, ORCID: 0000-0002-2232-2954, SCOPUS ID: 57203208658, ResearcherID (WoS): I-3413-2012. akud53@mail.ru.



Абдурайимов Ленмар Нариманович, 1983 г. рождения. Окончил Крымский инженерно-педагогический университет в 2004, к.т.н. (2013). Доцент кафедры прикладной информатики Крымского инженерно-педагогического университета. Специализируется в области генеративных интегрированных технологий, встроенных систем и микроконтроллеров. Автор учебного пособия, более 40 статей и докладов на конференциях. Author ID (РИНЦ): 911885; Researcher ID (WoS): B-2423-2019. abduraimov@gmail.com.

Поступила в редакцию 21.09.2020, после рецензирования 20.12.2020. Принята к публикации 25.12.2020.

Computer analysis of the emotional component of scientific publications using examples in physics and economics

V.S. Krylov¹, A.A. Kudryavtsev², L.N. Abduraimov¹

¹Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Abstract

The results of the application of the system of automated extraction and visualization of metadata of emotionality of texts of scientific publications in the field of innovative research in physics and economics are presented. In physics, works on the direct conversion of light radiation into electrical energy are considered based on photoplasma, which is an effect of the appearance of a potential difference in the plasma of alkali metals. In this area, the stage of research work has practically been completed, and a transition to experimental design work is taking place with a subsequent assessment of the economic efficiency of the production and operation of photoconverters based on photoplasma. Such metadata is necessary for the development and implementation into practice of systems for the intellectual analysis of news text data, analytical publications to increase the efficiency of forecasting and assess development prospects in various areas, for example, in financial and economic activities to predict quotations on the securities market. The paper provides examples of sentiment analysis and its visualization of economic scientific texts and text from the field of gas-discharge plasma research. Instrumental methods of emotional analysis of texts are implemented in the R language, which allows in a short time to form the necessary packages of text analysis programs not only by professional programmers, but also by analysts.

Key words: computer analysis of texts, sentiment analysis, emotional component, plasma physics, digital economy, R programming, artificial intelligence.

Citation: Krylov VS, Kudryavtsev AA, Abduraimov LN. Computer analysis of the emotional component of scientific publications using examples in physics and economics [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 449-462. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-449-462.

List of figures

- Figure 1 - Block diagram of a typical text analysis algorithm
 Figure 2 - Distribution of words according to the categories of emotionality of the *loughran* lexicon, carried out according to the texts of books: a) [24] and b) [25]
 Figure 3 - The most common positive and negative words in book texts: [24] and [25]
 Figure 4 - Distribution of words in the book [3] by: a) categories of emotionality of the *nrc* lexicon, b) emotional categories related to finance and economics
 Figure 5 - Words that match positive and negative sentiments in the book [3]
 Figure 6 - The most common positive and negative words in the text of the book [3]

References

- [1] **Prokhorov A, Kerimov A.** Sentiment Analysis and Social Media Promotion [In Russian]. ComputerPress. 07'2012. <https://compress.ru/article.aspx?id=23115#4>.
- [2] A practical guide. Sentiment Analysis and Intelligent Opinion Analysis [In Russian]. Text Analysis API Documentation. 12/04/2020. <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/cognitive-services/text-analytics/how-to-sentiment-analysis?tabs=version-3-1>.
- [3] **Yuan C, Kudryavtsev A, Demidov V.** Introduction to the Kinetics of Glow Discharges (IOP Concise Physics) Kindle Edition. Eurospan, 2019, 168 p.
- [4] **Silge J, Robinson D.** Text Mining with R. A Tidy Approach. ISBN-13: 978-1491981658.
- [5] **Ward B.** A Light Introduction to Text Analysis in R: Towards Data Science, May 3, 2019. <https://towardsdatascience.com/a-light-introduction-to-text-analysis-in-r-ea291a9865a8>.
- [6] **Mihalcea Rada and Tarau Paul.** TextRank: Bringing Order into Texts: University of North Texas. 8 p <https://web.eecs.umich.edu/~mihalcea/papers/mihalcea.emnlp04.pdf>.
- [7] **Fridolin W.** CRAN Task View: Natural Language Processing. Oxford Brookes University, UK. 2020-12-09. <https://cran.r-project.org/web/views/NaturalLanguageProcessing.html>.
- [8] **Toth M.** Sentiment Analysis of Warren Buffett's Letters to Shareholders. 20 March 2017. <http://michaeltOTH.me/sentiment-analysis-of-warren-buffetts-letters-to-shareholders.html>.
- [9] **Schroede A.** The Snowball. Warren Buffett and the Business of Life, Bantam Books. NY. 2008.
- [10] **Milkova MA.** Extraction of Key Terms of the Digital Economy: Graph-Oriented Approach [In Russian]. Digital economy. 2018; 4(4): 57-65. DOI: 10.34706/DE-2018-04-06. http://digital-economy.ru/images/easyblog_articles/524/digital_economy-number-4-0-6.pdf.
- [11] **Andrianova YeG, Novikova OA.** The role of text mining methods in the automation of forecasting the securities market [In Russian]. Cloud of Science, 2018; 5(1): 196–206.
- [12] **Georgiyeva K.** Economic forecasts have turned upside down: the world economy will begin to contract sharply this year [In Russian]. News UN, 9.04.2020. - <https://news.un.org/ru/story/2020/04/1375882>.
- [13] World Economic Situation and Prospects 2020: United Nations. New York, 2020. 236 p. https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/WESP2020_FullReport_web.pdf.
- [14] **Glaziyev SYu.** Management of economic development [In Russian]. Faculty of Public Administration, Moscow State University 2019. 759 p. - https://aurora.network/images/Uchebnik_faïl.pdf.
- [15] **Leskov S.** Academician Alexander Dynkin: Oil, diamonds and brains are the main value around the world [In Russian]. Izvestiya, 13.03.2009. - <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=f650b9ec-befd-4f49-be03-c07fbb1b87fd>.
- [16] **Krylov VS, Kudryavtsev AA, Kosykh NB.** Prospects and trends in the development of solar energy during the crisis [In Russian]. Scientific notes of the Crimean Engineering Pedagogical University, 2020; 2(68): 124-131.
- [17] **Krylov VS.** R: computer analysis of the emotionality of the texts of articles of cold plasma research [In Russian]. Information and computer technologies in economics, education and social sphere. Simferopol, 2019; 2(24): 129-136.
- [18] **Wickham H, Grolemund G.** R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data, 1st Edition. ISBN-13: 978-1491910399. - <https://r4ds.had.co.nz/>.
- [19] Top 63 Software for Text Analysis, Text Mining, Text Analytics: <https://www.predictiveanalyticstoday.com/top-software-for-text-analysis-text-mining-text-analytics/>.
- [20] BNOSAC Open Analytical Helpers. <https://www.bnosac.be/index.php/blog/84-starspace-for-nlp-nlproc>.
- [21] **Krylov VS.** Homo economicus of Adam Smith is not a cold and calculating intellectual [In Russian]. Information and computer technologies in economics, education and social sphere: abstracts. IV all-Ukrainian scientific-practical. conf. - Simferopol, KRP Krymuchpedgiz, 2010. P.50-51.

- [22] **Gebeyaw M.** Parsing Text for Emotion Terms: Analysis & Visualization Using R. R bloggers. May 11, 2017. <https://www.r-bloggers.com/2017/05/parsing-text-for-emotion-terms-analysis-visualization-using-r/>.
- [23] **Lande DV, Snarskii AA.** Approach to the creation of terminological ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 2(12): 83 -91.
- [24] **Nassim T.** The black swan: the impact of the highly improbable. Random House N.Y., 2007, 401 p.
- [25] **Keynes JM.** The General Theory of Employment, Interest, and Money. Macmillan Cambridge University Press, for Royal Economic Society 1936. <https://www.marxists.org/reference/subject/economics/keynes/general-theory/>.
-

About the authors

Vladimir Sergeevich Krylov (b. 1952). Graduated from Leningrad State University named after A.A. Zhdanov in 1976, Ph.D. (1993). Associate Professor of the Department of Applied Informatics of the Crimean Engineering and Pedagogical University. He specializes in information and communication technology, interdisciplinary research of information technology applications. Author of 2 monographs and 3 textbooks, more than 120 journal articles and reports at conferences. Author ID (RSCI): 911682; ORCID: 0000-0003-3419-6307, ResearcherID (WoS): I-6750-2017. vskrylov@gmail.com.

Anatoly Anatolyevich Kudryavtsev (b. 1953). Graduated from Leningrad State University named after A.A. Zhdanov in 1976, Ph.D. (1983). Associate Professor of the Department of Optics, Physics Faculty, St. Petersburg State University. He specializes in the physics of gas discharge and plasma. Author of 4 monographs and more than 150 journal articles and conference reports. Author ID (RSCI): 20106, ORCID: 0000-0002-2232-2954, SCOPUS ID: 57203208658, ResearcherID (WoS): I-3413-2012. akud53@mail.ru.

Lenmar Narimanovich Abduraimov (b. 1983). Graduated from the Crimean Engineering and Pedagogical University in 2004, Ph.D. (2013). Associate Professor of the Department of Applied Informatics of the Crimean Engineering and Pedagogical University. Specializes in generative integrated technologies, embedded systems and microcontrollers. Author of textbook, more than 40 journal articles and conference reports. Author ID (RSCI): 911885; Researcher ID (WoS): B-2423-2019. abdurayimov@gmail.com.

Received September 21, 2020. Revised December 20, 2020. Accepted December 25, 2020.

Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования сложной системы управления

Р.В. Ерженин¹, Л.В. Массель²

¹ Научно-практический центр «ГОСУЧЕТ», Москва, Россия

² Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация

Рассматривается онтологический подход к решению проблемы представления знаний о моделировании современных организационно-технических систем управления. Целью данной работы является формирование модели предметной области моделирования сложной системы в сфере государственного управления. Предметом системного анализа выбрана оценка эффективности функционирования сложной системы управления, рассматриваемая как отдельный объект в моделировании системы. Представлены: структура методологического обеспечения рассматриваемой системы и её состав, включающий методологию моделирования, методику оценки эффективности и концепцию сопровождения разработки и внедрения системы поддержки выбора оптимальных параметров функционирования системы; структура методологии моделирования, включающая системную концепцию оценки эффективности и концепцию описания многоуровневой структуры сложной системы; модель предметной области моделирования и оценки эффективности сложной системы. Модель включает описания: сложной системы управления; деятельности по проектированию и оценке системы управления; разработки системы поддержки принятия решений. Новизна предложенного подхода заключается в его способности придать целенаправленный характер деятельности по моделированию сложной системы с определёнными характеристиками и логической структурой, а также в способности выделять существенные объекты реальных отношений в практике проектирования и представлять знания для совместной работы специалистов в компьютерном моделировании экспертной деятельности.

Ключевые слова: проектирование, система управления, информационная система, онтология, СППР, представление знаний, методология.

Цитирование: Ерженин Р.В. Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования сложной системы управления / Р.В. Ерженин, Л.В. Массель // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С. 463-476. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.

«Вводя понятие методологии, мы фактически различаем два типа знания — знание о мире и знание о знании»
Юдин Э.Г.

Введение

Принятие решений с ориентацией на мнения экспертов и аналитиков является одним из распространенных способов управления в различных сферах деятельности человека. Область экспертно-аналитических оценок и методы определения их качества сравнительно хорошо изучены во многих научных школах. В тоже время, вопрос повышения эффективности суждений высококвалифицированных специалистов, привлекаемых для оценки сложных объектов, всё чаще становится предметом научных дискуссий.

В современном государственном управлении привычным подходом являются экспериментальные проверки на субъективно-принятых суждениях. Однако для многих сложных объектов, таких, например, как сложная организационно-техническая система управления (далее – ОТС управления), натурные эксперименты невозможны. Поэтому проведение пол-

ноценных экспертно-аналитических мероприятий в рамках проектирования сложных систем в сфере государственного управления не отличается широкой популярностью ввиду наличия жёстких требований к скорости получения и составу информации для принятия решений. Подобную проблему повышения качества экспертно-аналитической деятельности можно успешно решать, используя подходы системного анализа.

Известным средством формализации и систематизации знаний, включая научные предметные области (ПрО), являются *онтологии*. В данной работе предпринята попытка определить состав и структуру методологического обеспечения, выделить основные понятия и систематизировать информацию в такой научной области, как *оценка эффективности ОТС управления*.

1 Особенности моделирования и оценки эффективности сложных организационно-технических систем управления

Исследованию *эффективности систем* в различных областях деятельности человека посвящена обширная научная литература. В ряде работ рассматривается такое понятие, как *теория эффективности* [1-6], а в отдельных исследованиях [6-9] речь идёт о *теории оценки эффективности*, современное изложение которой позволяет трактовать эффективность как сложное и многогранное явление, отражающее не только соотношение результатов и затрат, но и эффективность процесса, степень удовлетворённости деятельностью, степень достижения результата и т.п.

Понятие *ОТС управления* охватывает практически все используемые и создаваемые для управленческой деятельности *информационные системы (ИС) управления*. В рамках отдельной ОТС управления реализуется профессиональная деятельность управленцев в обособленно-функциональной области. Характеристики функционирования ИС задаются другими специалистами в процессе управленческой деятельности другого типа, где эта ОТС управления становится результатом и предметом управления её развитием. Такая «другая» управленческая деятельность наиболее чётко просматривается на примерах организации различных *ИТ-проектов*, реализуемых в определённой временной последовательности по фазам, стадиям и этапам [10]. Одной из наиболее важных фаз в этой деятельности является *проектирование*, результатом которого становится *архитектурная модель* ИС.

Создание модели сложной системы определяется содержанием *метода моделирования*, в котором исходя из *логической структуры методологии* [10] выделяются три базовых элемента: *субъект*–исследователь (системный архитектор); *объект* исследования (ОТС управления); *модель*, опосредствующая отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.

Построение модели с *приемлемыми* показателями функционирования - системная задача, требующая анализа и синтеза исходных данных, гипотез, теорий, опыта и знаний специалистов. Подобную системную задачу можно разделить на две составляющие:

- создание (синтез) различных моделей;
- анализ свойств системы на основе исследования их моделей.

При этом синтез также подразделяется на две задачи:

- синтез структуры проектируемых систем (структурный синтез);
- выбор численных значений параметров функционирования элементов систем (параметрический синтез).

Обе задачи относятся к области *принятия проектных решений*, связанных с построением модели сложной системы с приемлемыми показателями функционирования, осуществляются в условиях неопределённости.

Общие алгоритмы оценки эффективности функционирования ИС ОТС управления подразделяются на два базовых алгоритма решения прямой и обратной задач.

Алгоритм решения прямой задачи, который используется для анализа эффективности функционирования ИС и её элементов:

- 1) выявление и формализация функций;
- 2) обоснование показателей эффективности функционирования;
- 3) обоснование критериев оценивания эффективности функционирования;
- 4) разработка математической модели оценки эффективности функционирования;
- 5) вычисление показателей эффективности функционирования;
- 6) оценивание эффективности функционирования;
- 7) исследование влияния эксплуатационно-технических характеристик ИС на эффективность функционирования;
- 8) анализ чувствительности показателей эффективности и отбор значимых факторов.

Алгоритм решения обратной задачи - задачи синтеза ИС и её элементов:

- 1) выявление и формулирование целей повышения эффективности функционирования, отбор значимых управляемых факторов;
- 2) обоснование критериев эффективности и показателей их оценивания;
- 3) построение математической модели эффективности функционирования ИС;
- 4) испытание новой модели ИС и определение её оптимальных характеристик;
- 5) обоснование требований к структуре ИС (структурный синтез);
- 6) обоснование требований к эксплуатационно-техническим характеристикам ИС (параметрический синтез);
- 7) обоснование требований к организации процесса функционирования ИС (алгоритмический синтез).

2 Структуризация отношений в моделировании ОТС управления

2.1. Структура системы методологического обеспечения

Особенности моделирования ОТС управления позволяют заключить, что для снижения уровня неопределённости при создании модели ИС решение задач синтеза следует осуществлять через решение задачи анализа.

Методологическое обеспечение управления развитием ОТС управления представляет собой процесс формирования и совершенствования системы взаимоувязанных концепций, принципов и методик, обеспечивающих поддержку моделирования и проектирования ИС управления.

Обоснование такой *системы обеспечения*, когда наряду с объективными данными о моделируемой системе приходится использовать и субъективную информацию, заключённую в знаниях экспертов, является сложным процессом. Подобная сложность обусловлена неоднородностью иерархии организационной структуры системы управления и необходимостью комплексного учёта основополагающих принципов её описания, разнообразия видов работ по моделированию и оценке, а также учёта большого количества разнообразных факторов. Кроме этого, при проектировании системы возникает необходимость решения и задач оптимизации по различным критериям с целью подбора приемлемых значений для параметров её функционирования.

Моделирование ОТС управления имеет свои отличительные особенности, формирующие особые отношения в данной ПрО, в том числе отношения людей в тех бизнес-процессах, ко-

которые связаны с проектированием системы. Сложность подобных отношений указывает на необходимость выделения структуры обеспечения в деятельности, связанной с моделированием системы.

Структура системы методологического обеспечения развития сложной ОТС управления, представленная на рисунке 1, включает совокупность знаний особого рода, находящихся в комплексном соподчинении и выступающих как ориентиры деятельности, связанной с анализом и синтезом сложной системы.



Рисунок 1 – Структура системы методологического обеспечения развития сложной организационно-технической системы управления

Система методологического обеспечения моделирования управления развитием ОТС управления включает:

- методологию моделирования;
- методическое обеспечение оценки эффективности;
- концепцию сопровождения разработки и внедрения экспертно-ориентированной системы поддержки выбора оптимальных параметров функционирования ИС управления.

Такой состав системы методологического обеспечения содержит всю необходимую информацию об организации моделирования и о подходах к разработке технологии поддержки выбора и может обеспечить необходимыми условиями деятельность эксперта и деятельность системного инженера, связанные с проектированием ИС.

2.2. Структура методологии моделирования

Организовать целенаправленную деятельность моделирования означает упорядочить её в целостную систему с чётко определёнными характеристиками, логической структурой и процессом её осуществления. Подобная система чаще всего отражается в форме отдельной методологии моделирования как общей совокупности целей, гипотез, подходов, принципов, методов, средств и процедур логической организации, используемых при изучении сложной системы управления.

Разработка методологии моделирования ОТС управления требует использования множества понятийных и категориальных конструкций и различий от мира явлений, как результата синтетического преобразования структуры и статуса эмпирических данных, до универ-

сальной схемы взаимодействия, от самостоятельности научной реальности до различения онтики¹ и онтологии [11].

Целью разработки методологии моделирования ИС ОТС управления является расширение теоретической базы и создание руководящих материалов для организации проведения комплексного анализа её функционирования. Задачи подобной методологии включают определение принципов, этапов, способов, методов, информационной базы, показателей, критериев и форм предоставления информации для принятия решений.

Структура методологии моделирования, представленная на рисунке 2, сформирована с учётом обобщения рассмотренных теоретических исследований оценки эффективности функционирования сложной ОТС управления.

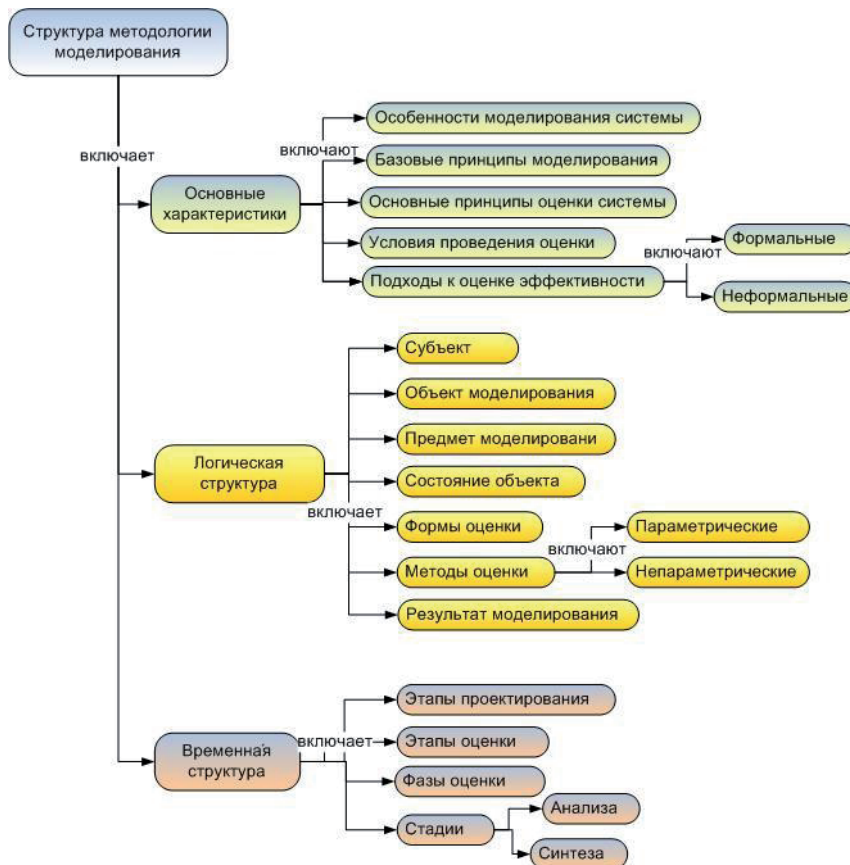


Рисунок 2 – Структура методологии моделирования сложной организационно-технической системы управления

3 Методология моделирования как набор объектов отношений в проектировании системы

В данной работе методология моделирования и оценки эффективности представлена через объективацию реальных отношений в практике проектирования ОТС управления. На современном этапе развития объективация становится относительно самостоятельной сферой деятельности человека, т.к. она непосредственно связана не только с предметом теоретического анализа, но и с представлением деятельности в виде модели для компьютерного моделирования.

¹Онтический – в философии М. Хайдеггера относящийся к порядку сущего в отличие от «онтологического» как относящегося к порядку бытия. См. Новая философская энциклопедия. - М.: Мысль, 2010.

Согласно [11], в состав объективации включаются как типичные используемые в науке «вещи» (научные теории, гипотезы, данные и т.п.), так и типичные структуры субъекта науки и его деятельности (структуры типичных деятельностей порождения и воспроизводства текстов, фиксации данных, классификации, анализа и и т.п.) и типичные виды организации такой деятельности (объективированные в научных профессиях, специальностях и в научных организациях). Поэтому подобное понимание методологии моделирования может включать все формальные, логические и эмпирические определённости её, как отдельного объекта, так и составной части общей теории оценки эффективности ОТС управления.

Основные объекты методологии моделирования ОТС управления формируются вокруг *системной концепции* оценки эффективности функционирования сложной системы управления. К наиболее важным объектам системной концепции можно отнести основные принципы, на основе которых формируется *концепция описания многоуровневой структуры*, включающая набор методов, используемых для описания свойств, структуры и поведения системы, а также для разработки моделей оценки эффективности её функционирования.

3.1. Системная концепция оценки эффективности функционирования сложной системы управления

Концептуальные основы оценки эффективности функционирования ИС ОТС управления предполагают определение *концепции оценки*. Подобная концепция содержит основные идеи по описанию облика исследуемого объекта как системы, теоретических и методических основ его исследования. *Системное представление* об оценке ОТС управления, включает следующие положения:

- ОТС управления рассматривается как сложная иерархическая система, состоящая из определённых элементов, обеспечивающих её целенаправленность;
- ОТС управления имеет множество состояний, определяемых уровнем её организованности, зависящим от формы её организационной структуры, выбранной технологии и качества взаимодействия её внутренних структурных элементов между собой и внешней средой.

Преимущества системного подхода позволяют не только построить модель реальной системы, но и использовать эту модель для оценки функционирования системы. Системная концепция оценки эффективности обусловлена теми *свойствами системы*, которые определяются на основе базовых принципов системного подхода [12, 13], таких как целенаправленность, целостность, иерархичность, многоаспектность и др.

3.2. Концепция описания многоуровневой структуры сложной системы

Рассматривая свойства сложной ОТС, можно прийти к заключению, что основная проблема её исследования проявляется в поиске компромисса между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить многочисленные особенности исследуемого объекта. Один из путей решения этой проблемы - задание принципов для описания семейства формальных моделей, каждая из которых может описать систему с целевой позиции и позиции соответствующего уровня абстрагирования.

Признаки деления для ОТС управления могут быть представлены, например, принципами *территориального* или *отраслевого* деления, наиболее характерными для сферы государственного управления в России. Признаком деления по *пространственной (территориальной) иерархии* является занимаемая публично-правовым образованием площадь; чем больше площадь территории, тем выше его ранг (уровень в иерархии). Данный признак не

всегда является объективным, так как площадь, занимаемая объектом, не всегда соответствует его значимости, поэтому другим критерием пространственной иерархии является количество населения, проживающего на этом пространстве (территории).

Концепция многоуровневой структуры, сочетающей территориальный и отраслевой принципы и принцип *вертикальных* и *горизонтальных* связей между ОТС управления, впервые была предложена В.М. Глушковым при разработке общегосударственной автоматизированной системы управления [14]. Подобная смешанная структура характерна для современного управления государственным бюджетом и может квалифицироваться как стратифицированная структура управления с вертикальными и горизонтальными связями. Стратифицированные структуры такого типа могут быть реализованы на принципах эшелонированного управления, предложенных М. Месаровичем [12, 13].

Организационная структура современного российского управления на каждом уровне формируется с помощью соответствующих нормативно-правовых и нормативно-методических документов, регламентирующих конкретные информационные и координационные связи между органами управления. Организационные структуры территориального и отраслевого управления не всегда рассматриваются как подчинённые друг другу, что затрудняет графическое представление структуры управления даже одной отраслью, не говоря уже о представлении структуры управления страной [15].

Кроме принципов описания структуры и функций системы, должны быть определены основные *принципы оценки эффективности*, которые целесообразно представить в виде структуры, состоящей из трёх основных групп (см. рисунок 3):

- *теоретические принципы*, определяющие теоретическую основу моделирования и оценки эффективности функционирования ОТС управления;
- *методологические принципы*, определяющие основные направления, состав и структуру деятельности по моделированию ОТС управления;
- *технические принципы*, определяющие порядок осуществления деятельности по оценке эффективности функционирования ОТС управления.

4 Рефлексия в формировании методологического знания

4.1. От методологии моделирования к онтологии методологии

Онтологический подход в задачах моделирования сложных систем связан с работой по выделению и объединению релевантных инфологических и функциональных аспектов моделируемой системы в соответствующей онтологии. Фундаментальным вопросом *онтологического анализа* является «объективизация», используемая в данной работе для *выделения ПрО моделирования из зоны интуиции* эксперта с целью *конструирования онтологии* [16].

Конструирование онтологии методологии моделирования относится к одной из наиболее острых проблем [17]. Связано это с тем, что современные методологии структурного анализа и проектирования CASE-инструментов [18], а также различные технологии инженерии знаний [19] в общем случае не адаптированы для проведения систематической процедуры или формализма, позволяющего «вывести» общую структуру ПрО моделирования ОТС управления. Между тем, онтологический подход в создании баз знаний для моделирования ПрО был успешно использован, например, в работах [20-22] и ряда др.

Предложенная на рисунке 4 онтология методологического обеспечения (ОМО) управления развитием отраслевой ОТС сферы государственного управления, как онтология ПрО, содержит отношения в системе понятий и методов, представленных в разделе 2. ОМО состоит из подсистем взаимосвязанных онтологий, отвечающих за представление различных компо-

нентов знаний [17], где компоненты сосредоточены вокруг методологии создания модели ОТС управления, описания модели её оценки функционирования и вокруг модели проведения этой оценки. ОМО как *онтология области знаний* задаёт систему понятий и отношений, предназначенных для детального описания ПрО моделирования сложной системы управления, а как *онтология задач и методов*, описывает методологические задачи, решаемые при проектировании ОТС управления, и методы, используемые для их решения.

Для получения адекватной модели знаний о ПрО моделирования необходимо сформировать системное представление о модели оценки, которая должна отражать все аспекты методологии моделирования ОТС управления. При этом под адекватной моделью оценки эффективности понимается система, включающая различные модели и методы, описывающие как структуру оцениваемой системы управления, так и структуру деятельности по оценке эффективности её функционирования.

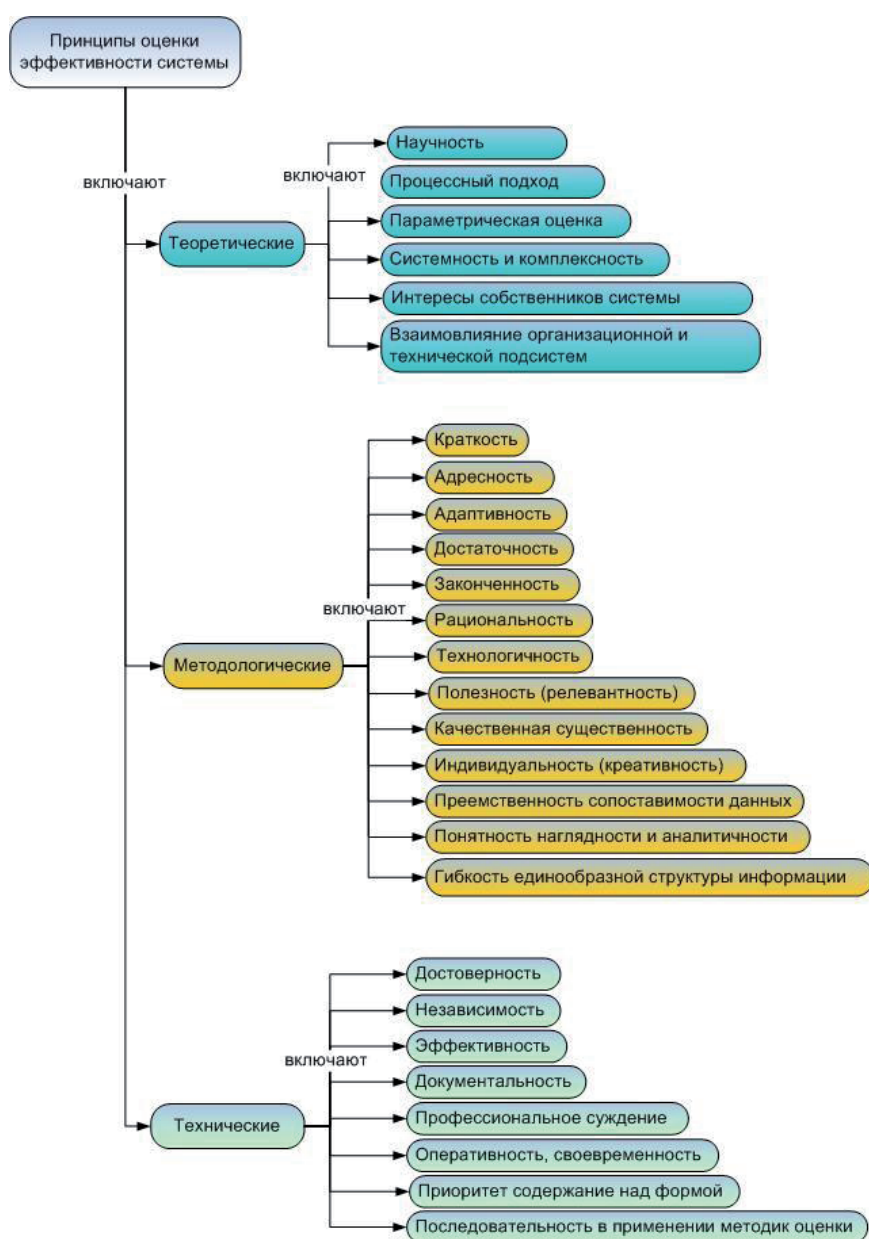


Рисунок 3 – Структура принципов оценки эффективности сложной организационно-технической системы управления

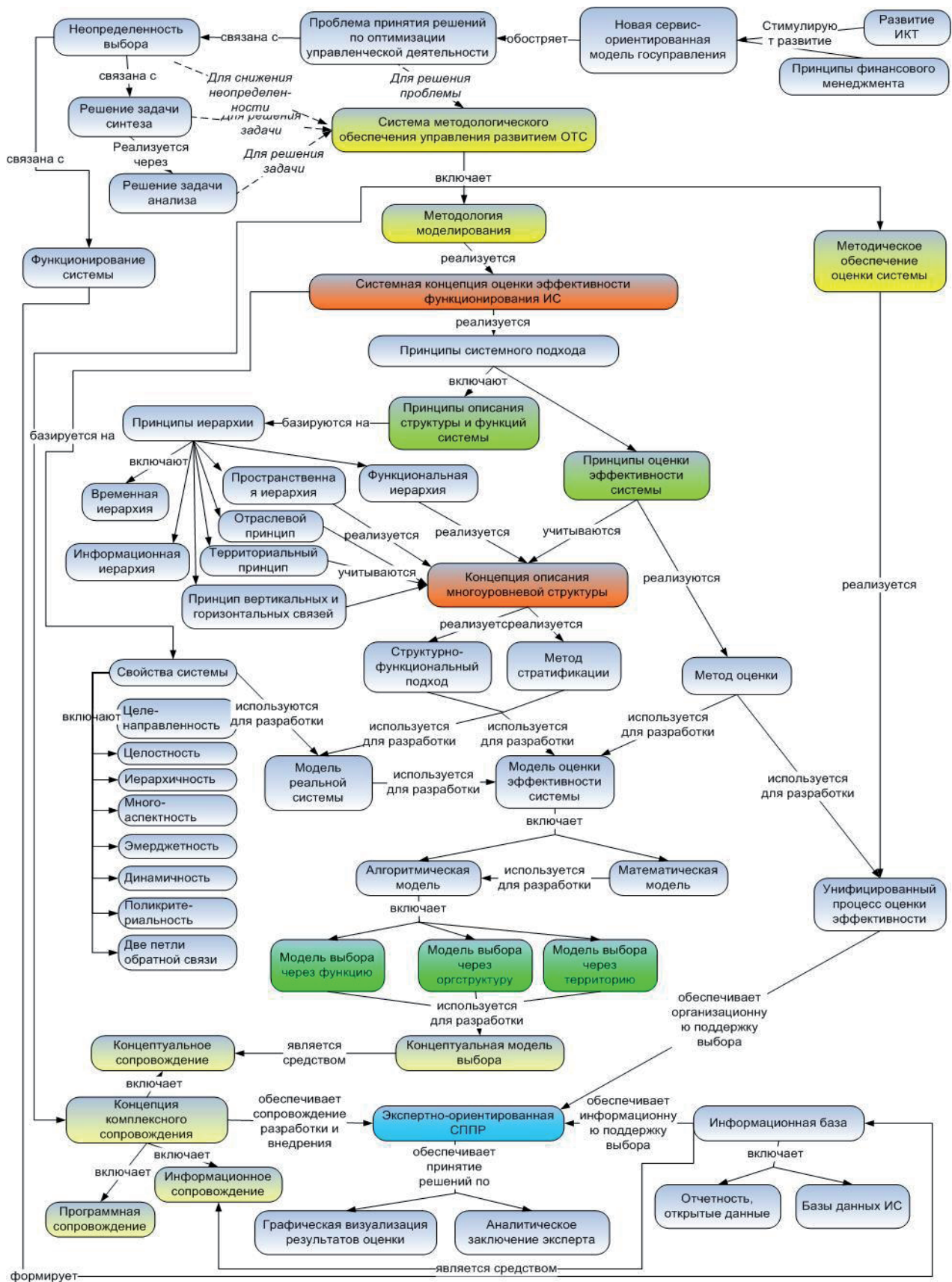


Рисунок 4 – Онтология методологического обеспечения управления развитием отраслевой организационно-технической системы сферы государственного управления

Модель ПрО знаний, отображённая на рисунке 4, характеризует отношения в моделировании ОТС управления как отношения к объекту исследования и как отношения к знаниям о нём как о части мира. Использование онтологического подхода позволяет выделить объективное содержание моделирования сложной системы, а познание этого моделирования рассматривается как деятельность по выявлению допустимой семантики информации о ПрО.

Предложенный подход к представлению методологического знания о моделировании может рассматриваться и как рефлексия, т.е. как форма контроля движения к получению истины. В этом отношении рефлексия формально-организационной стороны, главной особенностью которой является ориентация на знание и на процесс его получения, в целом направлена на создание *нормативной методологии*. Её результатом является построение предписаний и норм, соблюдение которых необходимо для обеспечения правильности постановки проблемы [11].

Развитие рефлексии приводит к тому, что анализ средств познания постепенно перерастает в их систематическое производство, где результат может приобрести стандартизованную «инженерную» форму [23, 24], *становится объективно необходимой и реализуется тенденция к формализации (в том числе алгоритмизации) и математизации самой системы деятельности в науке* [23].

4.2. Интеллектуальная поддержка оценки эффективности функционирования сложной системы

Начальная и фундаментальная фазы онтологического анализа опираются на анализ и систематизацию доступных данных об актуальной части реального мира – ПрО моделирования сложной системы. Для обозначения этой фазы часто используют также термин «*концептуальный анализ*»; содержание этого определения интерпретируют, например, как *абстрагирование* существа физических объектов и их взаимосвязи в виде некоторой модели или теории, которая соответственно называется *концептуальной моделью* изучаемого объекта [25]. При этом, результатом концептуального анализа ПрО оценки эффективности ОТС управления становится не только концептуальная модель оценки, но и её *информационная модель*.

В случае с представленной на рисунке 4 онтологией, под информационной моделью понимается модель деятельности по оценке ОТС управления, в которой представлены информационные аспекты этой деятельности, в том числе связанные с объектом оценки и с выбором метода оценки. Таким образом, концептуальная модель оценки может быть реализована в обобщённой информационной модели *интеллектуальной системы поддержки принятия решений* (СППР), необходимой эксперту для помощи при определении параметров функционирования моделируемой ОТС управления.

Методологическое обеспечение моделирования управления развитием ОТС управления включает кроме методологии моделирования и адаптированных к ней методик оценки системы, также и специальную *концепцию комплексного сопровождения разработки и внедрения интеллектуальной экспертно-ориентированной СППР*. Основная задача концепции заключается в *методологическом сопровождении* процедур разработки и внедрения СППР от этапов предпроектирования до реализации. В этом отношении представляется конструктивным подход, когда СППР строится для решения определённого класса задач, содержит множество методов и позволяет выбирать методы для решения конкретных задач, например, представленных в [26].

В разработке интеллектуальной экспертно-ориентированной СППР можно выделить те же этапы, что и в разработке любых ИС [27].

Таким образом, предложенная концепция направлена на обеспечение поддержки совместной работы экспертов, системных инженеров и программистов. Подобная концепция

позволит обеспечить единую систему понятий, общий концептуальный базис ПрО моделирования и оценки ОТС управления.

Заключение

Рассмотрена ПрО моделирования ОТС управления как целенаправленная деятельность в решении задачи оценки эффективности её функционирования.

Методология моделирования ОТС управления связана со многими разделами науки и интеллектуальными традициями, что является основанием для выделения проблемы междисциплинарной интеграции знаний. Решение этой проблемы в проектировании сложных ОТС сдерживается отсутствием удобных инструментов, позволяющих приобретать, накапливать и использовать разнородные знания для принятия решений при построении адекватных моделей системы.

Факторы новизны предлагаемых подходов к решению обозначенной проблемы заключаются в использовании онтологического подхода к представлению знаний об оценке эффективности сложной иерархичной системы управления.

Разработанная онтология ПрО моделирования и оценки эффективности может быть использована в качестве основы для разработки интеллектуальной экспертно-ориентированной СППР в процедурах макропроектирования крупномасштабных ИС управления.

Предложенные модели знаний о ПрО, созданные на их основе инструментарии могут повысить производительность труда экспертов, качество принятия решений в условиях неопределённости, сократить сроки создания, упростить модификацию и сопровождение экспертно-ориентированных систем.

Список источников

- [1] *Ильичев, А.В.* Эффективность проектируемой техники: Основы анализа / А. В. Ильичев. - М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
- [2] *Росин, М.Ф.* Статистическая динамика и теория эффективности систем управления / М.Ф. Росин, В.С. Булыгин. - М.: Машиностроение, 1981. – 312 с.
- [3] *Соломонов, Ю.С.* Большие системы: гарантийный надзор и эффективность / Ю.С. Соломонов, Ф.К. Шахтарин. - М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.
- [4] *Флейшман, Б.С.* Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. - М.: Советское радио, 1971. – 224 с.
- [5] *Coelli, T.* An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis / T. Coelli, D.S. Prasada Rao, G.E. Battese. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. - 275 p.
- [6] *Сухарев, О.С.* Теория эффективности экономики / О.С. Сухарев. – М.: ИНФРА-М, 2014. - 367 с.
- [7] *Галиуллин, Х.Я.* Эффективность как категория теории эффективности / Х.Я. Галиуллин, Г.П. Ермаков, М.В. Симонова // Экономика и предпринимательство. - 2016. - № 9. – С.555-562.
- [8] *Коган, А.Б.* Генезис теории оценки эффективности реальных инвестиций / А.Б. Коган, А.В. Новиков // Вестник НГУЭУ. - 2017. - № 2. - С.10-18.
- [9] *Казаку, Е.В.* Тенденции развития теории оценки эффективности перспективных инвестиционно-строительных проектов в цифровой экономике / Е.В. Казаку // Бюллетень результатов научных исследований. - 2019. - № 4. - С.109-129.
- [10] *Белов, М.В.* Структура методологии комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). - С.366-387. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [11] *Чусов, А.В.* О перспективах развития методологии науки: моделирование, объективация, общая структура метода / А.В. Чусов // Вопросы философии. - 2012. - № 1. - С.60-70.
- [12] *Волкова, В.Н.* Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. - М.: Юрайт, - 2012.
- [13] *Месарович, М.* Общая теория систем: Математические основы / М. Месарович, Я. Такахаара. - М.: Мир, 1978. – 312 с.
- [14] *Глушков, В.М.* Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. – М.: Наука, 1987. – 552 с.

- [15] **Ерженин, Р.В.** Стратифицированная модель управления государственным бюджетом / Р.В. Ерженин // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2019. - №4(16). - С.46-59.
- [16] **Смирнов, С.В.** Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2001. - Т. 3, № 1. - С.62-70.
- [17] **Загорулько, Ю.А.** Проблемы построения онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования / Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова // Информационные технологии и системы. Труды Седьмой Всероссийской научной конференции с международным участием. Отв. редакторы Ю.С. Попков, А.В. Мельников. - 2019. - С.157-161.
- [18] **Калянов, Г.Н.** CASE-структурный системный анализ (автоматизация и применение) / Г.Н. Калянов. - М.: Лори, 1996. - 242 с.
- [19] **Гаврилова Т.А.** Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. - СПб.: Издательство «Лань», 2016. - 324 с.
- [20] **Черняховская, Л.Р.** Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Онтология проектирования. - 2014. - №4(10). - С.42-50.
- [21] **Бармина, О.В.** Построение системы поддержки принятия решений на основе онтологического анализа предметной области / О.В. Бармина, Н.О. Никулина // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника: Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. - 2016. - С.463-467.
- [22] **Массель, Л.В.** Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики / Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова // Онтология проектирования. - 2020. - Т. 10, №3(37). - С.327-337. - DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [23] **Юдин, Э.Г.** Системный подход и принцип деятельности: Методологические проблемы современной науки / Э.Г. Юдин. - М.: Наука, 1978. - 391 с.
- [24] **Корнилова, Т.В.** Методологические основы психологии / Т.В. Корнилова, С.Д. Смирнов. - М.: Издательство Юрайт, 2016. - 490 с.
- [25] **Соловьев, С.В.** Технология разработки прикладного программного обеспечения / С.В. Соловьев, Л.С. Гринкруг, Р.И. Цой. Дальневосточная гос. социально-гуманитарная академия, 2011. - 408 с.
- [26] **Загорулько, Г.Б.** Разработка интеллектуальной СППР по предотвращению угроз энергетической безопасности / Г.Б. Загорулько, Л.В. Массель // Вестник СибГУТИ. - 2019. - №3. - С.70-79.
- [27] **Загорулько, Г.Б.** Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР / Г.Б. Загорулько // Онтология проектирования. - 2019. - Т.9, №4(34). - С.462-479.

Сведения об авторах



Ерженин Роман Валерьевич, 1972 г. рождения. Окончил Иркутский государственный технический университет в 1994 г., к.э.н. (2012). Генеральный директор ООО «Научно-практический центр ГОСУЧЕТ», доцент кафедры стратегического и финансового менеджмента Байкальской международной бизнес-школы Иркутского государственного университета. В списке научных трудов около 50 работ в области исследования проблем использования ИТ в сфере управления государственными финансами. ORCID: 0000-0001-9380-0987; AuthorID (RSCI): 752554; AuthorID (Scopus): 57204457721. rerzhenin@gmail.com.



Массель Людмила Васильевна, 1949 г. рождения. Окончила Томский политехнический институт (1971). Д.т.н. (1995), профессор (1999). Главный научный сотрудник, зав. отделом «Системы искусственного интеллекта в энергетике» Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ), профессор Института информационных технологий и анализа данных Иркутского национального технического университета. В списке научных трудов около 300 статей и глав монографий в области проектирования информационных систем и технологий, семантического моделирования, разработки систем интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике. AuthorID (RSCI): 8466. Author ID (Scopus): 56440157300; Researcher ID (WoS): K-5060-2018. lvmassel@gmail.com.

Поступила в редакцию 16.11.2020, Принята к публикации 23.12.2020.

Ontological approach to the knowledge presentation about the methodology of modeling a complex control system

R.V. Erzhenin¹, L.V. Massel²

¹ Scientific and Practical Center "GOSUCHET", Moscow, Russia

² Institute of Energy Systems L.A. Melentieva SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract

An ontological approach to solving the problem of knowledge representing about modeling modern organizational and technical control systems is considered. The purpose of this work is to form a model of the subject area of modeling a complex system in the field of public administration. The subject of system analysis is the assessment of the effectiveness of the functioning of a complex control system, considered as a separate object in the system modeling. The following are presented: the structure of the methodological support of the system under consideration and its composition, including the modeling methodology, the efficiency assessment methodology and the concept of support for the development and implementation of the system to support the choice of optimal parameters of the system functioning; the structure of the modeling methodology, including the system concept of assessing the effectiveness and the concept of describing the multi-level structure of a complex system; domain model for modeling and evaluating the effectiveness of a complex system. The model includes descriptions of a complex control system, activities for the design and assessment of the management system, development of a decision support system. The novelty of the proposed approach lies in its ability to impart a purposeful character to the activity of modeling a complex system with certain characteristics and logical structure, as well as in the ability to highlight essential objects of real relations in the practice of design and to present knowledge for the joint work of specialists in computer modeling of expert activity.

Key words: design, control system, information system, ontology, DSS, knowledge representation, methodology.

Citation: *Erzhenin RV, Massel LV. Ontological approach to the knowledge representation about the methodology of modeling a complex control system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 463-476. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.*

List of figures

- Figure 1 - The structure of the system of methodological support for the development of OTS management
 Figure 2 - The structure of the methodology for modeling complex OTS control
 Figure 3 - The structure of principles for assessing the effectiveness of complex OTS control
 Figure 4 - Ontology of methodological support for the development management of the sectoral OTS in the sphere of public administration

References

- [1] *Ilyichev AV*. The effectiveness of the designed equipment: Fundamentals of analysis [In Russian]. Moscow: Mechanical Engineering; 1991. 336 p.
- [2] *Rosin MF, Bulygin VS*. Statistical dynamics and control systems efficiency theory [In Russian]. Moscow: Mechanical Engineering; 1980. 312 p.
- [3] *Solomonov YuS, Shakhtarin FK*. Large systems: guarantee supervision and efficiency [In Russian]. Moscow: Mechanical Engineering; 2003. 368 p.
- [4] *Fleishman BS*. Elements of the theory of potential efficiency of complex systems [In Russian]. Moscow: Sov. Radio; 1971. 224 p.
- [5] *Coelli T, Prasada Rao DS, Battese GE*. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers; 1998. 275 p.
- [6] *Sukharev OS*. The theory of economic efficiency [In Russian]. Moscow: 2014. 367 c.
- [7] *Galiullin HYA, Ermakov GP, Simonova MV*. Efficiency as a category of efficiency theory [In Russian]. *Economy and entrepreneurship*. 2016; 9: 555-562.
- [8] *Kogan AB, Novikov AV*. The genesis of the theory of evaluating the effectiveness of real investments [In Russian]. *NSUEU Bulletin*. 2017; 2: 10-18.
- [9] *Kazaku EV*. Development trends of the theory of evaluating the effectiveness of promising investment and construction projects in the digital economy [In Russian]. *Scientific research results bulletin*. 2019; 4: 109-129.

- [10] **Belov MV, Novikov DA.** The structure of the methodology of complex activity [In Russian]. *Ontology of design.* 2017; 7(4): 366-387. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [11] **Chusov AV.** On the prospects for the development of the methodology of science: modeling, objectification, the general structure of the method [In Russian]. *Questions of philosophy.* 2012; 1: 60-70.
- [12] **Volkova VN, Denisov AA.** System theory and system analysis [In Russian]. Moscow: Yurayt; 2012.
- [13] **Mesarovich M, Takahara Ya.** General theory of systems: Mathematical fundamentals [In Russian]. Moscow: Mir; 1978.
- [14] **Glushkov VM.** Fundamentals of Paperless Informatics [In Russian]. M.: Nauka, 1987. - 552 p.
- [15] **Erzhenin RV.** A stratified model of state budget management [In Russian]. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management.* 2019; 4(16): 46-59.
- [16] **Smirnov SV.** Ontological analysis of modeling domains [In Russian]. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2001; 3(1): 62-70.
- [17] **Zagorulko YA, Borovikova OI.** Problems of constructing ontologies of scientific subject areas based on ontological design patterns. *Information technologies and systems [In Russian]. Proc. of the 7th All-Russian Scientific Conference with International Participation.* Eds.: YS Popkov, AV Melnikov. 2019: 157-161.
- [18] **Kalyanov GN.** CASE structural system analysis (automation and application) [In Russian]. Moscow: Lori; 1996. 242 p.
- [19] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Myromtsev DI.** Knowledge engineering. Models and methods: textbook [In Russian]. S. Petersburg: Publishing house "Lan"; 2016. 324 p.
- [20] **Chernyakhovskaya LR, Malakhova AI.** Development of models and methods for intelligent decision support based on the ontology of organizational management of software projects [In Russian]. *Ontology of design.* 2014; 4(10): 42-50.
- [21] **Barmina OV, Nikulina NO.** Building a decision support system based on the ontological analysis of the subject area [In Russian]. *Intelligent systems, control and mechatronics: Proc. of the All-Russian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students.* 2016: 463-467.
- [22] **Massel LV, Vorozhtsova TN.** Ontological approach to the construction of digital twins of energy objects and systems [In Russian]. *Ontology of design.* 2020; 10(3): 327-337. - DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [23] **Yudin EG.** Systematic approach and principle of activity: Methodological problems of modern science [In Russian]. Moscow: Science; 1978. 391 p.
- [24] **Kornilova TV, Smirnov SD.** Methodological foundations of psychology: textbook for academic bachelor's degree - 2nd ed., Revised. and add. [In Russian]. Moscow: Yurayt Publishing House; 2016. 490 p.
- [25] **Soloviev SV, Grinkrug LS, Tsoi RI.** Applied software development technology, study guide: for students of higher educational institutions [In Russian]. Moscow: Federal state. budgetary educational institution higher. prof. education "Far Eastern State. Social and Humanitarian Academy"; 2011. 408 p.
- [26] **Zagorulko GB, Massel LV.** Development of intelligent DSS to prevent threats to energy security [In Russian]. *Bulletin of SibSUTI.* 2019; 3: 70-79.
- [27] **Zagorulko GB.** Model of integrated support for the development of intelligent DSS [In Russian]. *Ontology of design.* 2019; 9(4): 462-479.
-

About the authors

Roman Valer'evich Erzhenin (b. 1972), graduated from Irkutsk State Technical University in 1994, Ph.D. (2012). General Director of Scientific and Practical Center GOSUCHET, Associate Professor of the Department of Strategic and Financial Management of the Baikal International Business School of Irkutsk State University. The list of scientific works includes about 50 works in the field of research on the problems of using IT in the field of public finance. ORCID: 0000-0001-9380-0987; Author ID (RSCI): 752554; Author ID (Scopus): 57204457721. erzhenin@gmail.com

Liudmila Vasilievna Massel (b. 1949) graduated from the Tomsk Polytechnic Institute, in 1971, Doctor of Technical Sciences (1995), professor (1999). Chief Researcher, Head of "Artificial Intelligent Systems in Energy Sector" department at Energy Systems Institute SB RAS. Professor of the Information Technologies and Data Analysis Institute in the Irkutsk National Research Technical University. The list of scientific works includes about 300 articles in the field of semantic modeling, design of information systems and technologies, and the development of intelligent decision support systems in the field of energy solutions. AuthorID (RSCI): 8466; Author ID (Scopus): 56440157300; Researcher ID (WoS): K-5060-2018. lvmassel@gmail.com

Received 16.11.2020. Accepted 23.12.2020.

Применение инструментов онтологического анализа для формирования расчётных моделей электроснабжения

И.Н. Фомин

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия

Аннотация

Предлагается концепция интеллектуальной поддержки процесса автоматизированного формирования расчётных моделей электроснабжения в информационных системах энергетических предприятий, основанная на принципах управления знаниями. Концепция включает проведение онтологического анализа данных и формирование соответствующих баз знаний. Декомпозированы этапы процесса управления знаниями о параметрах расчётных моделей электроснабжения с целью разработки инструментов их автоматической генерации в биллинговых системах. Определены наборы параметров объектов электроснабжения и параметров, характеризующих объём энергопотребления, показатели цены и параметры расчёта стоимости потребленной электроэнергии, которые наряду с отношениями между сущностями и их функциональными связями определяют структуру онтологий. Впервые даны определения расчётной модели электроснабжения как семантической модели, состоящей из совокупности базовых понятий электроэнергетики, и как системы знаний о методах хранения и обработки информации о величинах энергопотребления. Построена онтология процесса формирования расчётных моделей с применением онтологического редактора Protégé. Сформулированы требования к базе знаний системы поддержки процесса формирования расчётных моделей в информационных системах и обоснована возможность применения технологий интеллектуального анализа данных с механизмами проверки на непротиворечивость, достаточность и непрерывность знаний посредством применения методов формирования нечётких правил. Это позволяет обосновать возможность применения принципов нечёткой логики для автоматизированного формирования расчётных моделей электроснабжения в биллинговых системах.

Ключевые слова: *расчётная модель электроснабжения, СППР, биллинговые системы, онтологический анализ, базы знаний, нечёткая логика.*

Цитирование: *Фомин, И.Н. Применение инструментов онтологического анализа для формирования расчётных моделей электроснабжения // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С.477-488. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-477-488.*

Введение

В Российской Федерации как и во многих других странах цифровизация электросетевого комплекса отнесена к объектам критической информационной инфраструктуры [1, 2].

Для энергосетевых и энергосбытовых предприятий важной научно-технической задачей является автоматизированное формирование расчётных моделей электроснабжения. Расчётные модели в энергетике – это формы представления объекта электроснабжения или процесса электроснабжения через семантическую модель, состоящую из совокупности базовых понятий предметной области (ПрО) и функциональных связей между ними, или математическое описание, адекватно отражающее сущность и свойства этого объекта и процесса его электроснабжения. Набор технических параметров, зарегистрированных на определённый момент времени, а также набор входов и выходов бизнес-процессов и наборы функциональных связей требуется адекватно формализовывать, изменять, оптимизировать. Т.е. стоит задача управления расчётными моделями, позволяющими производить расчёты требуемых показателей по заданным техническим и коммерческим условиям электроснабжения, генерации, передачи и потребления электроэнергии [3].

В статье развиваются результаты, полученные в работах [3, 4], в которых:

- описаны типы задач, решаемые в электроэнергетике в отраслевых информационных системах;
- проведён теоретико-множественный анализ технико-экономических показателей для задач структурно-параметрического синтеза расчётных моделей электроснабжения;
- предложена концепция интеллектуальной поддержки деятельности энергетических предприятий, основанная на принципах управления знаниями.

При разработке концепции интеллектуальной поддержки деятельности энергетических предприятий были использованы принципы онтологического инжиниринга [5], предполагающего установление связей между прикладным классическим анализом данных и анализом формальных понятий [6].

Расчётные модели электроснабжения в отраслевых информационных системах формируются путём создания реляционных баз данных (БД). При разработке структур этих БД используются наборы нечётких множеств данных и функциональных связей, часто задаваемых естественным языком. Процессы формирования расчётных моделей электроснабжения состоят из сбора множеств этих данных и последовательной их обработки на разных этапах бизнес-процесса. Они характеризуются разнородностью источников информации, а также совокупностью концептов и связей между ними, из которых состоит семантическая модель.

Возможности применения принципов нечётких множеств данных и лингвистических переменных [7] для моделирования сложных технических систем при разработке алгоритмов и механизмов принятия решений, основанных на нечётком выводе, используются в менеджменте [8], в производстве [9], в других задачах [10, 11]. На современном этапе эти принципы стали применяться в задачах адаптивного управления [12, 13], в задачах разработки систем поддержки принятия решений (СППР) с применением принципов онтологического анализа.

В настоящей работе описывается формализация концепции автоматизации построения расчётных моделей и предлагаются инструменты онтологического анализа процесса формирования расчётных моделей для биллинговых систем энергетического предприятия посредством формирования онтологии и баз знаний (БЗ) ПрО. Использование имеющихся на энергетическом предприятии знаний и опыта персонала, сосредоточенных в стандартах, методиках, регламентах и в БД, как исходного материала для построения интеллектуальной системы поддержки процесса формирования расчётных моделей с СППР, позволит повысить эффективность энергосетевых и энергосбытовых предприятий, а также достичь заданных показателей энергоэффективности [1, 2].

1 Постановка задач

На современном этапе способ формирования и изменения расчётных моделей электроснабжения основан на формировании реляционных БД в отраслевых информационных биллинговых системах. Формированием и изменением расчётных моделей занимаются специалисты, которые должны обладать знаниями из области электротехники, электроснабжения, отраслевой экономики и иметь навыки формирования структур БД в прикладной информационной системе. Это усложняет работу специалистов и может приводить к возникновению инцидентов, обусловленных человеческим фактором. Поэтому для отрасли актуально применение научных подходов к задачам формирования структур БД биллинговых систем, их расчётных моделей и к задачам поддержки принятия решений при формировании и изменении расчётных моделей. Расчётные модели электроснабжения потребителей можно рассматривать как систему знаний о методах и средствах сбора, передачи, хранения и обработки информации о величинах энергопотребления.

С учётом данных определений и отраслевых требований рассматриваемые задачи могут быть сформулированы следующим образом:

- разработать модель процесса управления знаниями для поддержки принятия решений при формировании расчётных моделей энергоснабжения;
- разработать онтологию, определяющую БЗ о структуре электроснабжения потребителя;
- автоматизировать синтез расчётных моделей электроснабжения.

2 Формализация концепции интеллектуальной поддержки синтеза расчётных моделей электроснабжения на основе принципов управления знаниями

Диаграмма процесса управления знаниями о расчётной модели электроснабжения представлена на рисунке 1. Предложенная концепция интеллектуальной поддержки процесса формирования расчётных моделей включает в себя разработку визуальной объектно-ориентированной модели управления знаниями, модели формирования знаний и онтологической модели процесса автоматического формирования расчётных моделей. Формализация полученных знаний осуществляется в ходе разработки объектно-ориентированной модели управления набором знаний о технических и договорных (или коммерческих) условиях энергоснабжения. Это позволяет на начальных этапах проектирования информационных биллинговых систем сформировать БЗ о процессах энергоснабжения потребителей электроэнергетики.

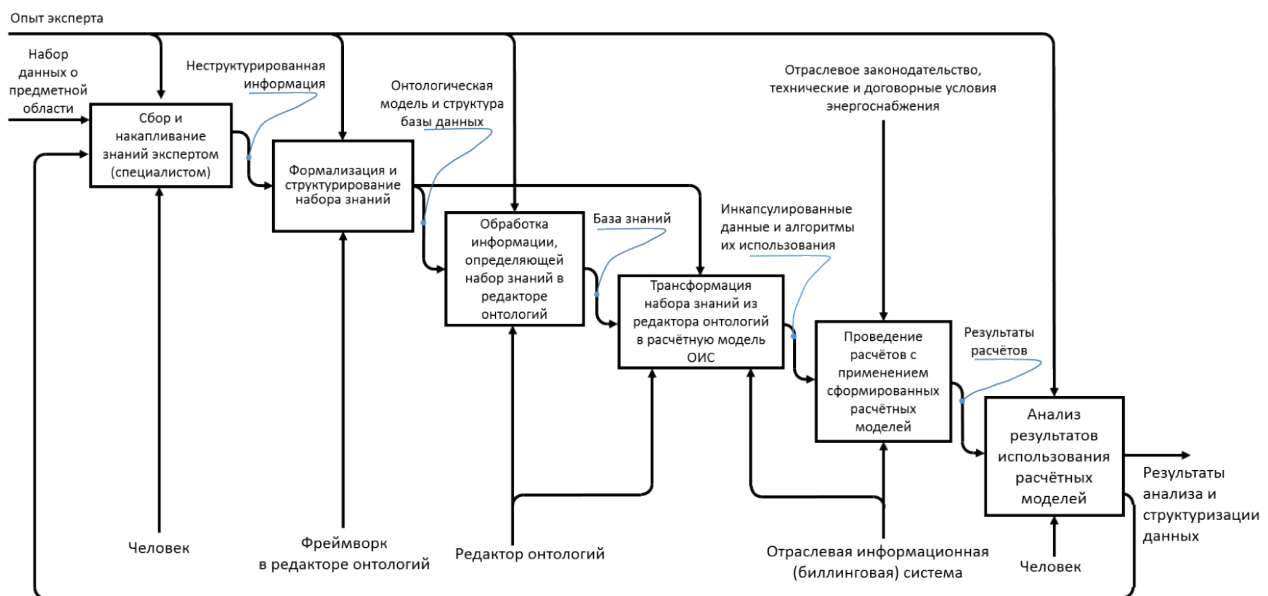


Рисунок 1 - Диаграмма процесса управления знаниями о параметрах расчётной модели электроснабжения в нотации IDEF0

В концепции, визуализированной на рисунке 1, онтология используется для формального описания объектов и отношений между ними. На основе разработанной онтологии строятся модели представления знаний о технических и договорных условиях электроснабжения в виде правил и прецедентов принятия решений при их формировании и изменениях, которые вместе с онтологией составляют основу БЗ СППР. Например, если потребители находятся в одной ценовой зоне рынка электроэнергии, то правила и прецеденты формирования расчётных моделей для них, с большой вероятностью, идентичны.

Сформированная структура БД трансформируется в набор структурированных знаний, которые преобразуются в реляционную БД отраслевой информационной системы посредством организации логического вывода, как результата совокупного применения цепочек

рассуждений и стратегий формирования решений на их основе. После получения результатов расчётов по созданным расчётным моделям производится адаптация БЗ и обучение СППР новым знаниям на основе интеллектуального анализа данных и формирования суждений экспертов в соответствии с изменениями технических условий электроснабжения потребителя. По результатам анализа корректируют набор данных о ПрО и повторяют цикл управления знаниями.

3 Разработка модели процесса управления знаниями при формировании расчётных моделей энергоснабжения на основе принципов онтологического анализа

Разработанная концепция интеллектуальной поддержки синтеза расчётных моделей основана на теоретико-информационном анализе знаний, определяет структуру представления знаний по результатам онтологического анализа и обеспечивает управление знаниями о расчётных моделях энергоснабжения в условиях их постоянного изменения. Это позволяет накапливать и применять знания и опыт экспертов посредством проведения различных мероприятий для улучшения использования существующих или создания новых индивидуальных или коллективных ресурсов знаний, согласно [14]. Управление знаниями обеспечивается управлением набором данных о параметрах расчётных моделей: их отбором, технической поддержкой, структурированием для использования в заданном контексте.

В ходе моделирования процесса сбора, хранения и управления наборами знаний о топологии сети электроснабжения, о наборе ограничений и о различных условиях электроснабжения устанавливаются отношения между когнитивными элементами бизнес-процесса энергетического предприятия: причинно-следственные отношения сходства, отношения обобщения, ассоциации, зависимости и реализации. Например, если в расчётной модели электроснабжения потребителя произошли изменения, то и в расчётной модели других потребителей, питающихся от того же источника, с большой вероятностью тоже произошли изменения. Эти компоненты необходимы для разработки комплекса объектно-ориентированных моделей, определяющих расчётную модель и структуру БД в информационной биллинговой системе. Такую модель можно представить в виде соотношений набора классов или онтологии [15]. В описываемой прикладной задаче онтологию O можно описать как:

$$O = \langle P, R, F \rangle$$

где P - описание материальных и абстрактных сущностей, формирующих конкретную расчётную модель; R - отношения между сущностями, входящими в расчётную модель; F - конечное число функциональных связей, заданных в концептах и соотношениях, являющиеся правилами вывода. Набор сущностей, входящих в расчётную модель, определён, например, в регламентах деятельности системного и коммерческого операторов оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) [16] и формализован в [4, 17]. К таким сущностям относятся параметры: объекта электроснабжения $\{P^O\}$, объёмов энергопотребления $\{P^V\}$, цены потребляемой электроэнергии $\{P^C\}$ и стоимости потреблённой электроэнергии $\{P^S\}$.

К параметрам объектов электроснабжения $\{P^O\}$ относятся учётные показатели, определяющие: объект электроснабжения; субъект рынка электроэнергии, осуществляющий электроснабжение объекта; группу потребителей, к которой относится владелец объекта электроснабжения; группы точек поставки, от которых питается объект электроснабжения; тип договора электроснабжения между поставщиком и потребителем электроэнергии и мощности; точку поставки и точку учёта потребляемой электроэнергии объектом энергоснабжения и их признаки транзитности; сетевую организацию, по сетям которой выполняется электроснабжение; регион, в котором находится объект электроснабжения; зону рынка электроэнергии;

уровень напряжения, на котором осуществляется электроснабжение объекта; расчётный период, разграничивающий данные об энергопотреблении (час, сутки, месяц).

К множеству параметров, определяющих объём энергопотребления $\{P^V\}$, относятся учётные показатели, определяющие: вид массива данных об объёмах энергопотребления (интервальные, интегральные, плановые, фактические); набор данных Системного оператора, влияющих на показатель уровня потребляемой и резервируемой мощности; набор данных Коммерческого оператора, влияющих на показатель уровня потребляемой и резервируемой мощности; тип тарифа на энергию (одно-, двух- или трёхставочный); тип тарифа на услуги по передаче электроэнергии (одно-, двухставочный); способ учёта объёмов (интегральный в целом за период, интервальный по часам, по зонам суток); число зон суток; признак факта (требования) почасового планирования энергопотребления потребителем.

К параметрам цен и тарифов потребляемой электроэнергии $\{P^C\}$ относятся учётные показатели определяющие: набор данных Коммерческого оператора, влияющих на формирование розничных цен; наборы повышающих и понижающих индикативов, влияющих на формирование розничных цен; признак факта (требования) трансляции цен электроэнергии и мощности с ОРЭМ; тарифы электросетей на передачу электроэнергии; тарифы на услуги инфраструктур ОРЭМ; сбытовые надбавки; удельную стоимость электроэнергии на ОРЭМ, ценовую категорию объекта электроснабжения.

К параметрам, в совокупности определяющим стоимость потреблённой электроэнергии $\{P^S\}$, относятся: учётные показатели стоимости электроэнергии, дифференцируемой и недифференцируемой по часам в ценовых или неценовых зонах рынка; стоимость электроэнергии, дифференцируемой по зонам суток в ценовых или неценовых зонах рынка; стоимость электроэнергии с учётом отклонений от плановых объёмов потребления в ценовых или неценовых зонах рынка; стоимость сетевой или резервируемой мощности при двухставочном тарифе на передачу в ценовых или неценовых зонах рынка; стоимость электроэнергии с учётом отклонений при одноставочном тарифе, дифференцированном по зонам суток в неценовой зоне рынка; стоимость электроэнергии с учётом отклонений при двухставочном тарифе в неценовой зоне рынка; стоимость мощности с учётом отклонений фактической мощности от договорной.

Основной задачей при разработке интеллектуальной СППР является задача выбора модели представления полученных от экспертов знаний о существующих топологиях электроснабжения и расчётных моделях для отражения в БЗ СППР. В настоящей работе выбрана модель представления знаний на основе онтологии поддержки принятия решений.

Разрабатываемая онтология должна представлять собой формальное явное описание определённых выше параметров $\{P^O\}$, $\{P^V\}$, $\{P^C\}$ и $\{P^S\}$ в виде классов и их свойств (слотов) с ограничениями, наложенными на слоты. Такая онтология обеспечивает общий набор параметров расчётных моделей, определяет семантику сообщений и интерпретацию контекста данных о прецедентах в виде функциональных связей в определённых соотношениях. Онтология, состоящая из представленного набора классов, создаёт основу для того, чтобы при управлении взаимодействующими процессами лица, участвующие в формировании расчётных моделей в информационных системах, могли корректно обмениваться информацией и понимать друг друга. В процессе автоматического формирования расчётных моделей энергоснабжения онтология выполняет следующие основные функции:

- определяет общую базу реальных и абстрактных сущностей, используемых при формировании расчётных моделей энергоснабжения (например: точка учёта электроэнергии, точка поставки электроэнергии);
- обеспечивает возможность совместного применения знаний, представленных в онтологии, при синтезе новых или изменении существующих расчётных моделей (например, в

целях организации электроснабжения нового потребителя или при изменении топологий сети, которая питает потребителей).

На рисунке 2 показан фрагмент онтологии процесса формирования расчётных моделей электроснабжения, разработанной с применением онтологического редактора *Protégé* 4.3.

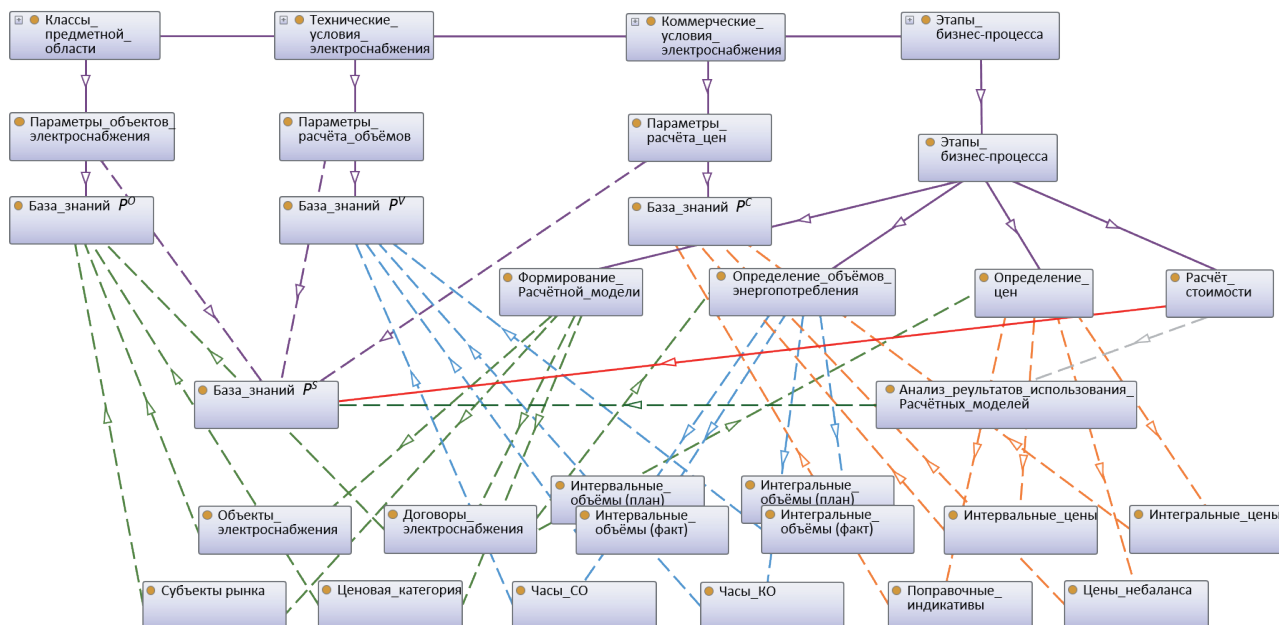


Рисунок 2 - Фрагмент онтологии процесса формирования расчётных моделей

Выбор использования редактора *Protégé* для построения онтологий обусловлен обеспечением целостного подхода к процессу формирования расчётной модели, возможностью сохранения свойств массивов данных в формате XML для загрузки их в отраслевые информационные системы, а также возможностью достижения: системности (визуально определяются функциональные связи элементов расчётной модели); единообразия (реальные и абстрактные элементы расчётной модели гармонично соседствуют в одной модели); комплексности (построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи) [5].

Набор параметров $\{P^O\}$, $\{P^V\}$, $\{P^C\}$ и $\{P^S\}$ формирует свои множества предметных онтологий и онтологий функциональных связей элементов расчётной модели с набором параметров P . С учётом этого, структура разработанной онтологии поддержки процесса формирования расчётных моделей может быть представлена в виде системы онтологий $Z = \langle O, P, M \rangle$, где O – онтология верхнего уровня (метаонтология), которая включает в себя общие объекты, их атрибуты, значения и отношения, определяющие свойства расчётной модели; M - модели машин выводов, ассоциированных с онтологической системой Z .

Метаонтологию O составляют общие понятия области управления знаниями, такие как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и прочие элементы расчётной модели. Применение метаонтологий позволяет проектировать алгоритмы экспертных систем и СППР с использованием моделей машин вывода.

Модель машины вывода M позволяет управлять производственной системой и выполнять функции просмотра существующих фактов из БД и правил из БЗ, которые сформировали расчётную модель. Модель машины вывода управляет записью в БД новых событий по формированию или изменению расчётных моделей и определяет порядок применения правил, если это возможно. Таким образом, расчётная модель формируется системой управления БД, структура которой формируется автоматически, посредством применения машины вывода.

Машина вывода, являясь элементом СППР, управляет процессом принятия решения, сохраняя для пользователя СППР информацию о полученных заключениях, и запрашивает у него информацию, если для срабатывания очередного правила в рабочей памяти оказывается недостаточно данных.

В предлагаемой концепции СППР машина вывода может представлять собой небольшую программу из двух компонент, одна из которых реализует собственно вывод, а другая управляет этим процессом. В *Protégé* эту роль выполняет надстройка *Reasoner*. Как правило, компонента вывода действует на основании правила: «Если известно, что истинно утверждение *A* и существует правило вида «ЕСЛИ *A*, ТО *B*», тогда утверждение *B* также истинно».

При постоянном пополнении БЗ в процессе управления знаниями о параметрах расчётной модели электроснабжения, изображённой на рисунке 1, в реальных энергетических предприятиях можно реализовать проверку на непротиворечивость любых функциональных связей, заданных в концептах и/или соотношениях, т.е. контроля того, являются ли выполняемыми критерии принадлежности к категории с точки зрения логики. Возможности онтологического редактора *Protégé* 4.3 позволили смоделировать эту проверку и создать иерархию понятий для анализа на противоречивость.

4 Применение принципов нечёткой логики для автоматизированного формирования расчётных моделей

Представленная онтология является основой БЗ СППР, которая обеспечивает интеллектуальную поддержку процесса формирования расчётных моделей посредством автоматического изменения структуры БД биллинговой системы.

Изучение бизнес-процессов энергетических предприятий выявило, что формирование расчётных моделей часто происходит в условиях неопределённости и нехватки информации, по крайней мере, на момент заключения контрактов энергоснабжения, а также в аварийных ситуациях. Значительная доля информации доступна в виде эвристических описаний процессов сбора данных, поэтому она может быть нечёткой и неопределённой. Кроме того, знания экспертов, которые служат основой для построения правил в БЗ, могут быть выражены нечётко в виде лингвистических переменных, на естественном языке, отражая опыт энергетиков и экономистов.

В предложенной концепции формирования расчётных моделей, выражающейся в определённой последовательности обработки информации (рисунок 1), применение тех или иных правил осуществляется посредством механизма логического вывода. Это, в частности, означает, что входящий поток информации, состоящей из набора знаний эксперта о ПрО, сформированной как на основе методов извлечения знаний из экспертов, так и извлечения знаний из данных [18], может представляться в виде нечётких правил, согласно которым к набору технических и коммерческих условий должно подбираться некоторое действие по формированию или изменению расчётных моделей.

Известно, что нечёткая логика делится на нечёткую логику в узком смысле, которая является специальной многозначной логикой, стремящейся к описанию феномена неопределённости, и на нечёткую логику в более широком смысле, основанную на использовании естественного языка [19]. Таким образом, обоснование возможности применения принципов нечёткой логики для автоматизированного формирования расчётных моделей нужно начинать с формализации требований к БЗ СППР. Важнейшими из принципов инженерии знаний являются следующие требования [20]:

- семантическая целостность знаний;
- непротиворечивость, полнота и непрерывность знаний;

- корректность взаимодействия пользователей с СППР.

Для разработки набора этих нечётких правил на основе интеллектуального анализа данных предлагается применять модифицированный метод формирования нечётких правил, представленный в [8]. Этот метод позволяет сформировать в онтологии множества:

- классов абстрактных элементов расчётной модели (нечётких сущностей);
- нечётких свойств расчётной модели;
- значений нечётких свойств, представленных лингвистическими переменными;
- экземпляров;
- бинарных нечётких отношений между концептами $\{R\}$.

Согласно [7], выделение классов, их свойств, значений переменных, множеств экземпляров и отношений на основе онтологии базы нечётких правил позволяет синтезировать расчётные модели электроснабжения на основе лингвистической переменной L , которая может быть описана набором вида

$$L = \langle W, T, X, G, M \rangle,$$

где W – наименование лингвистической переменной; T – базовое множество лингвистической переменной или множество её значений (терм-множество), представляющих собой наименования нечётких переменных, областью определения каждой из которых является множество X ; G – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами терм-множества T (в частности, генерировать новые термы (значения)); M – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой G , в нечёткую переменную, т.е. сформировать соответствующее нечёткое множество [7].

Известно большое число алгоритмов работы механизма принятия решений, основанных на нечётком выводе, которые отличаются не только характером и последовательностью операций, выполняемых в ходе фазсификации нечёткого логического вывода и дефазсификации, но и видом используемых нечётких правил [11]. Представив процесс формирования расчётных моделей электроснабжения через выделение классов, их свойств, значений переменных, множеств экземпляров и отношений, согласно [8], определив параметры основной переменной, согласно [7], в настоящей работе был формализован набор знаний о нечётко определённых технических и коммерческих условиях электроснабжения с помощью модели нечёткого вывода, в основе которой лежит нечёткая БЗ с правилами нечёткого её формирования, по методике, описанной в [12]. Согласно этой методике, совокупность условий и выводов в нечёткой БЗ определяет продукционное нечёткое правило в адаптивной нечёткой модели «Такаги-Сугено-Канга» (ТСК) [12]. Эти модели характеризуются прозрачностью, высокой точностью и малым количеством правил, что позволяет на их основе конструировать алгоритмы обучения БЗ. Построенные по этой модели алгоритмы обучения состоят из трёх этапов:

- 1) разбиение пространства ввода-вывода с помощью метода нечёткой кластеризации;
- 2) определение параметров последовательной части правила из наддетерминированной пакетной постановки задачи методом наименьших квадратов с использованием алгоритма декомпозиции сингулярных значений;
- 3) адаптация этих параметров рекурсивным методом наименьших квадратов.

Для расчётной модели, представленной в виде системы с n входами и одним выходом, множество известных параметров, представляющих знания о ней, может быть описано в ТСК-модели совокупностью нечётких правил вида

R_i : Если p_1 из $\{P\}$, есть A_1^i ; p_2 из $\{P\}$ есть A_2^i , ... p_n из $\{P\}$ есть A_n^i , то $y^i = f(p_1^i, \dots, p_n^i)$, где R_i есть i -е нечёткое продукционное правило соотношений элементов расчётной модели, в котором $i = 1, 2, \dots, K$; p_j есть входные переменные из множества параметров $\{P\}$, (для $j = 1, 2, \dots, n$); A_i^j – нечёткие подмножества, определённые при помощи принадлежностей (тре-

угольных, трапециевидных или гауссовых); y^i – выход i -го правила. Совокупность нечётких продукционных правил соотношений элементов расчётной модели образует нечёткую базу правил $\{R_i\}_{i=1}^K$.

Чёткая функция выхода, в этом случае, будет иметь вид: $y^i = f(p_1^i, \dots, p_n^i)$, а нечёткая функция выхода может быть записана в форме

$$y = \sum_{i=1}^K \frac{w^i}{\sum_{j=1}^K w^j} y_i = \sum_{i=1}^K w^i y_i,$$

где $w^i = T_{j=l}^n(A_j^i(x_j))$, где T_j^n – оператор $t_{норм}$.

Для того, чтобы определить непрерывность $\{R_i\}_{i=1}^K$, были использованы понятия:

- упорядоченная совокупность нечётких множеств;
- прилегающие нечёткие множества, определённые в [12].

При синтезе расчётных моделей нужно добиваться, чтобы логика их формирования, образующаяся приведёнными нечёткими множествами, обеспечивалась неперекрывающимися и непротиворечивыми данными. Непротиворечивость обеспечивается за счёт исключения правил, имеющих одинаковые предпосылки и разные заключения. При этом выбирается лишь одно правило группы противоречивых правил.

$\{R_i\}_{i=1}^K$ является метрикой, определяющей уровень достаточности знаний, необходимых для формирования расчётной модели электроснабжения. Неполная база правил имеет так называемые «пустые места» для определенных ситуаций (на семантическом уровне), т.е. не определены связи между входами и выходами. Этот эффект обусловлен свойствами нечётких множеств, которые используются в условиях правил.

В качестве меры достаточности $adeq(x)$ можно использовать критерий

$$adeq(x) = \sum_{i=1}^{N_r} \left\{ \prod_{j=1}^{N_p} \mu_{Aik}(p) \right\},$$

где p – физическая переменная входных данных (основание лингвистической переменной); N_p – число условий в правиле; N_r – число правил в базе правил.

Численные значения, которые принимает критерий $adeq(x)$, позволяют классифицировать базы правил по полноте знаний: если $adeq(x) = 0$, то это «неполная» база правил; если $1 > adeq(x) > 0$, то это «незначительно полная» база правил; если $adeq(x) = 1$, то это «точно полная» база правил; если $adeq(x) > 1$, то это «сверхполная» или избыточная база правил. Таким образом, проверка нечёткой базы правил на непрерывность, непротиворечивость и полноту позволяет повысить адекватность расчётных моделей электроснабжения, синтезируемых автоматически.

Концепция формирования БЗ, принципы онтологического анализа данных, критерии достаточности данных и принципы нечёткой логики в перспективе приемлемы для создания отраслевых СППР с функциями автоматизированного формирования расчётных моделей.

Заключение

Поставлена и решена научно-техническая задача, актуальная для предприятий, осуществляющих учёт и реализацию электроэнергии и услуг по её передаче – интеллектуальная поддержка процесса формирования расчётных моделей на основе онтологического анализа и БЗ. Обоснована возможность и разработана концепция интеллектуальной поддержки процесса синтеза расчётных моделей электроснабжения на основе принципов управления знаниями, включающая проведение онтологического анализа этого процесса и формирование БЗ, встроенной в онтологию, что позволяет накапливать и применять знания и опыт специалистов и экспертов. Показано, что принципы нечёткой логики приемлемы для создания базы нечётких правил для отраслевых СППР с функциями автоматизированного формирования

расчётных моделей. Создаваемые БЗ проверяются на непрерывность, непротиворечивость и полноту. Это позволяет проводить адаптацию параметров правил формирования расчётных моделей электроснабжения на основе обучения, а также обеспечить объективизацию знаний в расчётных моделях отраслевых информационных систем.

Список источников

- [1] Правительство РФ, Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации // Распоряжение Правительства РФ № 511-р от 03.04.2013 г. (в ред. от 29.11.2017 г.).
- [2] Указ президента РФ № 203 от 09.05.2017 г. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы // Собрании законодательства РФ от 15.05.2017 г. № 20. 2901 с.
- [3] **Фомин, И.Н.** Концепция интеллектуальной поддержки синтеза расчётных моделей электроснабжения // Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика / И.Н. Фомин // Сборник статей по материалам II - Международной научно-практической конференции (18 февраля 2020 г., г. Уфа). – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2020. - С.24-32.
- [4] **Фомин, И.Н.** Теоретико-множественный анализ технико-экономических показателей для задач структурно-параметрического синтеза расчётных моделей электроснабжения / И.Н. Фомин, Т.Э. Шульга, Н.В. Сердюкова // Труды Академэнерго, Исследовательский центр проблем энергетики Казанского научного центра РАН. – Казань, № 2. 2016. - С.82-94.
- [5] **Гаврилова, Т.А.** Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев, СПб.: Лань, 2016. - 324 с.
- [6] **Смирнов, С.В.** Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. Т.3. №1, 2001. - С.62–70.
- [7] **Заде, Л.А.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. - 165 с.
- [8] **Черняховская, Л.Р.** Формирование правил принятия решений в управлении проектами по результатам онтологического анализа / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конф. (25-28 июня 2013 г. Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2013. - С.343–350.
- [9] **Сытник, А.А.** Онтология предметной области «Удобство использования программного обеспечения» / А.А. Сытник, Т.Э. Шульга, Н.А. Данилов // Труды ИСП РАН, том 30, вып. 2, 2018. - С.195-214.
- [10] **Шульга, Т.Э.** О возможности применения LSPL-шаблонов для извлечения текста экземпляров классов онтологии / Т.Э. Шульга, А.О. Дмитриев, Д.И. Паневин // В сб.: Проблемы управления в социально-экономических и технических системах, Мат. XV Междунар. науч.-практ. конф. - М.: Наука, 2019. - С.3-6.
- [11] **Долинина, О.** Алгоритм принятия решения для экспертных систем, использующих механизм нечеткого вывода / О. Долинина, А. Шварц // Материалы XXVI Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-26), Саратов - Нижний Новгород. 2013.
- [12] **Егунов, Н.Д.** Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егунова; издание 2-ое, стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э Баумана, 2002 - 744 с.
- [13] **Рутковский, Л.** Методы и технологии искусственного интеллекта: Пер. с польск. / Л. Рутковский. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010 – 520 с.
- [14] ГОСТ Р 53894-2016. Менеджмент знаний. Термины и определения. Стандартиформ, 2017.
- [15] **Gruber, T.** A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. V 5. P.199–220.
- [16] НП Совет рынка, Регламент внесения изменений в расчётную модель электроэнергетической системы // НП Совет рынка, Регламент ОРЭМ от 01.12.2019 г. https://www.np-sr.ru/sites/default/files/sr_regulation/reglaments/r2_01122019_22112019.pdf.
- [17] **Фомин, И.Н.** Математическая модель и алгоритм оперативного управления генерирующим оборудованием ТЭС / И.Н. Фомин, В.А. Иващенко, Т.Э. Шульга // Прикладная информатика, 2018. Т.13. № 3(75). - С.24-34.
- [18] **Камаев, В.А.** Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / В.А. Камаев, М.В. Щербаков, А. Бребель // Открытое образование. 2011. № 2-2. С.227-231.
- [19] **Новак, В.** Математические принципы нечёткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж // Пер с англ.; Под ред. Аверкина А.Н. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 352 с.
- [20] **Бадамшин, Р.А.** Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний / Р.А. Бадамшин, Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская. – М.: Машиностроение, 2003 – 240 с.

Сведения об авторе



Фомин Игорь Николаевич, 1969 г. рождения. Окончил Московский государственный открытый университет по специальности электропривод и автоматизация производственных предприятий (1995), магистратуру Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина по специальности информатика и вычислительная техника (2012). Член Национальной палаты инженеров России, доцент кафедры «Информационно-коммуникационные системы и программная инженерия» Института прикладных информационных технологий и коммуникаций Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина, кандидат технических наук. В списке научных работ более 50 публикаций в области энергетики и системного анализа. AuthorID (РИНЦ): 748971. www.infomin.ru. ignik16@yandex.ru.

Поступила в редакцию 25.09.2020, после рецензирования 14.12.2020. Принята к публикации 18.12.2020.

Application of ontological analysis tools for the formation of calculation models of power supply

I.N. Fomin

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU), Saratov, Russia,

Abstract

The concept of intellectual support of the process of automated formation of calculation models of power supply in information systems of energy enterprises, based on the principles of knowledge management, is proposed. The concept includes carrying out ontological data analysis and the formation of the corresponding knowledge bases. The stages of the knowledge management process about the parameters of the calculated power supply models have been decomposed in order to develop tools for their automatic generation in billing systems. Sets of parameters of power supply objects and parameters characterizing the volume of energy consumption, price indicators and parameters for calculating the cost of consumed electricity, which, along with the relations between entities and their functional connections, determine the structure of ontologies, have been determined. For the first time, the definitions of the computational model of power supply are given as a semantic model consisting of a set of basic concepts of the electric power industry, and as a system of knowledge about methods of storing and processing information about the values of energy consumption. An ontology of the process of forming calculation models using the Protégé ontological editor is built. Requirements for the knowledge base of the system for supporting the formation of calculation models in information systems are formulated and the possibility of using data mining technologies with mechanisms for checking the consistency, sufficiency and continuity of knowledge through the use of methods for forming fuzzy rules is substantiated. This makes it possible to substantiate the possibility of applying the principles of fuzzy logic for the automated generation of calculation models of power supply in billing systems.

Key words: *calculation model of power supply, DSS, information billing systems, ontological analysis, knowledge bases, fuzzy logic.*

Citation: *Fomin IN. Application of ontological analysis tools for the formation of calculation models of power supply [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 477-488. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-477-488.*

List of figures

Figure 1 - Diagram of the knowledge management process about the parameters of the calculation model of power supply in the IDEF0 notation

Figure 2 - Fragment of the ontology of the calculation models forming process

References

- [1] The Government of the Russian Federation. The Strategy for the Development of the Electric Grid Complex of the Russian Federation [In Russian]. Order of the Government of the Russian Federation No. 511-р. (2013. April 03).

- [2] Decree of the President of the Russian Federation No. 203, On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030 [In Russian]. Collected Legislation of the Russian Federation (2017 May 09) No. 20. 2901 p.
 - [3] **Fomin IN**. The concept of intellectual support for the synthesis of calculation models of power supply [In Russian]. Innovative scientific research in the modern world: theory, methodology, practice. (Ufa, Russia, 2020. February 18) Collection of articles based on the materials of the II - International scientific and practical conf.: 24-32.
 - [4] **Fomin IN, Shulga TE, Serdyukova NV**. Set-theoretic analysis of technical and economic indicators for problems of structural and parametric synthesis of computational power supply models [In Russian]. Transactions of Academenergo, Center of the Russian Academy of Sciences. Kazan, Russia. 2016; 2: 82-94.
 - [5] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI**. Engineering knowledge. Models and methods: Textbook. [In Russian] SPb . Lan, 2016.
 - [6] **Smirnov SV**. Ontological analysis of subject areas of modeling [In Russian]. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 3. # 1. 2001: 62–70.
 - [7] **Zade LA**. The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions [In Russian]. Mir, 1976.
 - [8] **Chernyakhovskaya LR, Malahova AI**. Formation of decision-making rules in project management based on the results of ontological analysis [In Russian]. Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Trudy XV mezhdunarodnoj konferentsii (2013, June 25-28. Samara, Russia). [Issues of control and modeling in complex systems: Proceedings of the XV International Conference]. Samara: SAM NC RAS, 2013: 343–350.
 - [9] **Sytin AA, Shulga TE, Danilov NA**. Ontology of the subject area "Software Usability" [In Russian]. Proceedings of ISP RAS, 2018; 30(2): 195-214.
 - [10] **Shulga TE, Dmitriev AO, Panevin DI**. On the possibility of using LSPL-Templates for extracting the text of instances of ontology classes [In Russian]. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference. 2019: 3-6.
 - [11] **Dolinina O, Schwartz A**. Decision-making algorithm for expert systems using the fuzzy inference mechanism [In Russian]. Proceedings of the XXVI International Scientific Conference MMTT-26, Saratov, Russia, 2013.
 - [12] **Egupov ND**. Methods of robust, neuro-fuzzy and adaptive control: A Textbook [In Russian] *MGTU*, 2002.
 - [13] **Rutkovskij L**. Methods and technologies of artificial intelligence [In Russian]. Transl. Polish, Goryachaya liniya–Telekom, 2010. 520 p.
 - [14] GOST R 53894-2016, Knowledge management. Terms and Definitions [In Russian]. Standartinform, 2017.
 - [15] **Gruber T**. A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition.V 5. 1993.
 - [16] NP Market Council, Regulations for Amendments to the Design Model of the Electric Power System [In Russian]. NP Market Council, Regulations for the Wholesale Electric Power Market (2019 December 01) https://www.np-sr.ru/sites/default/files/sr_regulation/reglaments/r2_01122019_22112019.pdf.
 - [17] **Fomin IN, Shulga TE, Ivashchenko VA**. A mathematical model and algorithm of operational control of TPP generating equipment [In Russian]. Prikladnaya informatika, Sinergiya, 2018; 13(3): 24-34.
 - [18] **Kamaev VA, Shcherbakov MV, Brebels A**. Intelligent systems of automation of energy saving management [In Russian]. Otkrytoe obrazovanie. 2011; 2-2: 227-231.
 - [19] **Novak V, Perfilieva I, Mochkorzh I**. Mathematical principles of fuzzy logic. Publisher: Kluwer Academic Publisher, Boston. 1999.
 - [20] **Badamshin RA, Ilyasov BG, Chernyakhovskaya LR**. Management problems of complex dynamic objects in critical situations based on knowledge [In Russian]. Mechanical Engineering, 2003. 240 p.
-

About the author

Igor Nikolaevich Fomin, (b.1969). PhD. In 1995 he graduated from the Moscow State Open University with a degree in electric drive, automation of industrial enterprises, and in 2012 he received a master's degree in computer science and computer technology at Gagarin State Technical University of Saratov. Igor Fomin is a member of the National Chamber of Engineers of Russia, Associate Professor of the Department of Information and Communication Systems and Software Engineering of the Institute of Applied Information Technologies and Communications of the Saratov State Technical University. The list of scientific works includes more than 50 publications in the field of energy and systems analysis. AuthorID (RSCI): 748971. www.infomin.ru. ignik16@yandex.ru.

Received September 25, 2020. Revised December 14, 2020. Accepted December 18, 2020.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.82:004.89:519.816

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-489-502

Платформа для исследования аргументации в научно-популярном дискурсе

Е.А. Сидорова, И.Р. Ахмадеева, Ю.А. Загорулько, А.С. Серый, В.К. Шестаков

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация

Рассматривается программная система, предназначенная для поддержки исследования аргументации в русскоязычных научно-популярных текстах. Эта система базируется на онтологии, построенной на современных принципах моделирования аргументации. Данная онтология содержит формальные описания типовых схем рассуждений, на основе которых выполняется аннотирование текстов, анализ представленной в них аргументации и оценка её убедительности относительно заданной аудитории. Предлагается методика аргументативной разметки текста, которая обеспечивает выделение в нем утверждений и построение на их основе графа аргументации с использованием знаний о типовых схемах рассуждений. Описывается набор веб-инструментов, обеспечивающих создание тематических корпусов текстов, визуализацию используемой онтологии аргументации, построение графа аргументации, выделение в текстах индикаторов аргументации, а также поиск различных сущностей в корпусах текстов в терминах онтологии. Аналитические инструменты представлены средствами сбора статистической информации о встречаемости типовых элементов аргументации в корпусе текстов, средствами исследования индикаторов аргументации и средствами анализа убедительности аргументации. Представлена оригинальная методика исследования аргументации в научно-популярном дискурсе, базирующаяся на онтологии аргументации и поддержанная специализированной веб-платформой.

Ключевые слова: научно-популярный дискурс, онтология аргументации, аргументативная разметка текста, схема аргументации, индикатор аргументации, убедительность аргументации.

Цитирование: Сидорова, Е.А. Платформа для исследования аргументации в научно-популярном дискурсе / Е.А. Сидорова, И.Р. Ахмадеева, Ю.А. Загорулько, А.С. Серый, В.К. Шестаков // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С. 489-502. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-489-502.

Введение

В течение двух последних десятилетий роль Интернета как основной платформы для проведения споров и дебатов, распространения идей и обмена мнениями неуклонно возрастает. Этому способствуют онлайн-площадки и многочисленные Интернет-ресурсы, предоставляющие неограниченный доступ к различным источникам информации, в частности к научным и научно-популярным статьям. Потребителям этой информации хочется разобраться, насколько обоснованы высказываемые мнения и убедительны доводы авторов статей и участников споров и дебатов. Для решения этой задачи можно было бы привлечь методы и технологии обработки естественного языка, которые уже достигли впечатляющих результатов во многих областях. Однако, на данный момент эти технологии не предоставляют надёжных инструментов для выявления семантических связей между отдельными фрагментами текста. Например, они позволяют спрогнозировать, какого мнения будут придержи-

ваться люди через несколько лет, но не могут ответить на вопрос, почему люди придерживаются (или не придерживаются) такого мнения сейчас.

Обоснование мнений или тезисов составляет область теории аргументации, изучающей употребление аргументов в текстах и устной речи (дискурсе) с философской, лингвистической, когнитивной и вычислительной точек зрения. Анализ аргументации, в частности, включает преобразование неструктурированного текста в «цепочки» или графы связанных структурированных аргументов, что позволяет не только оценить отдельные высказывания, но и выявить отношения между ними, направленные на поддержку или нивелирование главного тезиса, предлагаемого автором публикации.

Автоматизация извлечения аргументации из текстов стала одним из приоритетных направлений лишь несколько лет назад [1]. Одним из основных условий развития данной области является создание корпусов текстов с аргументативной разметкой. На данный момент известны несколько аннотированных корпусов, включающих преимущественно англоязычные монологические тексты. Самым известным ресурсом с разметкой аргументации является *AIFdb*, бывший корпус *Araucaria* [2], который содержит новостные статьи, записи парламентских и политических дебатов. Созданы также ресурсы для немецкого языка: корпус Университета Дармштадта, который включает подкорпусы студенческих сочинений [3], новостных текстов и научных статей; Потсдамский корпус, содержащий небольшой набор микротекстов на заданную тему, позднее переведённых на английский язык [4]. Существуют проекты для некоторых других языков: итальянского, греческого, китайского. Для русского языка таких ресурсов, насколько нам известно, пока не создано.

В большинстве работ аргументативная разметка включает в себя сегментацию текста с выделением единиц аргументации, разметкой ролей (посылка, заключение) и отношений (поддержка / атака) без детализации структуры аргументов. Исключением являются корпуса, создаваемые с помощью системы *OVA (Online Visualisation of Argument - наследник Araucaria)* [5], где аннотация аргументативной структуры соотносится с конкретной схемой аргументации на основе теории Уолтона [6]. Исследование аргументации подразумевает её наглядное представление. Схемы аргументации формализуют определённые шаблонные конструкции, применяемые для убеждения целевой аудитории. При этом исследование статистики и контекстов использования той и иной схемы аргументации представляет больший интерес в рамках корпуса текстов, нежели в отдельно взятом тексте. Это подтверждается как быстрым развитием корпуса *AIFdb* [7], с которым уже объединены некоторые системы разметки аргументации [8-9], так и повышением интереса к задачам автоматического извлечения аргументации, где необходимы размеченные данные.

Для представления аргументации был разработан широкий спектр различных инструментов построения графов аргументации (*argumentation graph*). Они позволяют исследователям локализовать употребление аргументации в тексте и схематично представить аргументативную структуру текста в виде графа. Большинство этих инструментов, таких как *Araucaria* [2], *Rationale* [10], *OVA* [8], *Carneades* [11] и *DiGAT* [12] ориентированы на английский, немецкий и другие западноевропейские языки. Кроме того, они позволяют только представлять структуру аргументации в тексте, оставляя за рамками исследование её качественных характеристик. Качество же аргументации в первую очередь определяется степенью прозрачности и убедительности аргументов, то есть обоснованностью выводов.

В данной статье представлена программная система для поддержки исследования аргументации в русскоязычных научно-популярных текстах. Эта система предоставляет средства для работы с корпусами текстов, для моделирования и извлечения аргументации из текстов, для выполнения аргументативной разметки текстов с использованием онтологического представления схем аргументации, а также для анализа используемых в текстах аргументативных

стратегий и риторических приемов. Её особенностью является наличие средств моделирования и анализа убедительности аргументации. Такие средства необходимы для оценки качества аргументации, представленной в научно-популярных текстах, так как качество таких текстов, по нашему мнению, определяется не столько их литературными достоинствами, сколько качеством представленной в них аргументации.

1 Модель аргументации

Выявление в тексте типовых риторических приемов и рассуждений, убеждающих аудиторию в позиции автора, и их разметка является основой исследования аргументации, анализа её особенностей, проверки корректности и оценки убедительности относительно определённой аудитории.

Любая разметка текста опирается на модель, которая задаёт перечень сущностей, используемых при аннотировании, их типизацию, формат и интерпретацию. В работе в качестве такой модели используется расширенная версия онтологии аргументации (AIF-онтологии) [13], базирующейся на формате AIF (*Argument Interchange Format*) [14]. Отличительной особенностью данной онтологии [15] является её ориентированность на графовое представление аргументации, наличие разветвлённой системы классов для метаописания **типовых схем рассуждений** и средств для моделирования и анализа убедительности аргументации.

На рисунке 1 приведён пример схемы аргументации *Example_Inference* и её метаописание, построенное по её онтологическому представлению. Данная схема позволяет связывать найденные в тексте утверждения — две посылки и заключение, в единую структуру. Одно и то же утверждение может входить в разные структуры, тем самым осуществляя связывание выявленных в тексте «минимальных» единиц рассуждения - аргументов в единую цепочку, а в общем случае - в граф аргументации.

Аргумент «Example_Inference»		
Роль	Тип утверждения	Описание утверждения
CaseProperty_Premise	CaseProperty_Statement	In this case, the individual a has property F and also property G
Conclusion	GeneralProperty_Statement	Generally, if x has property F then (usually, probably, typically) x also has property G
TypicalObject_Premise	TypicalObject_Statement	a is typical of things that have F and may or may not have G

Найти примеры

Метаописание

Рисунок 1 – Пример схемы аргументации *Example_Inference* и её метаописание

Несмотря на указанный богатый набор свойств онтологии аргументации, её одной недостаточно для проведения полноценного исследования аргументации, используемой в текстах.

Во-первых, необходимо обеспечить не только представление и хранение аргументативной разметки текстов, но и информации об источнике аргументации. Для этого требуется создать хранилище корпусов текстов и их аннотаций, сопряжённых с онтологией.

Во-вторых, необходимы средства для поддержки жанровых и лингвистических исследований особенностей текста.

В-третьих, требуются инструменты для комплексного анализа созданных графов аргументации.

2 Инструменты создания и аннотирования корпусов текстов

Для поддержки исследования аргументации были разработаны инструменты для создания корпусов с аргументативной разметкой и работы с ними. Инструменты интегрированы в единую веб-платформу и предоставляют всю необходимую функциональность для проведения корпусных исследований (рисунок 2).

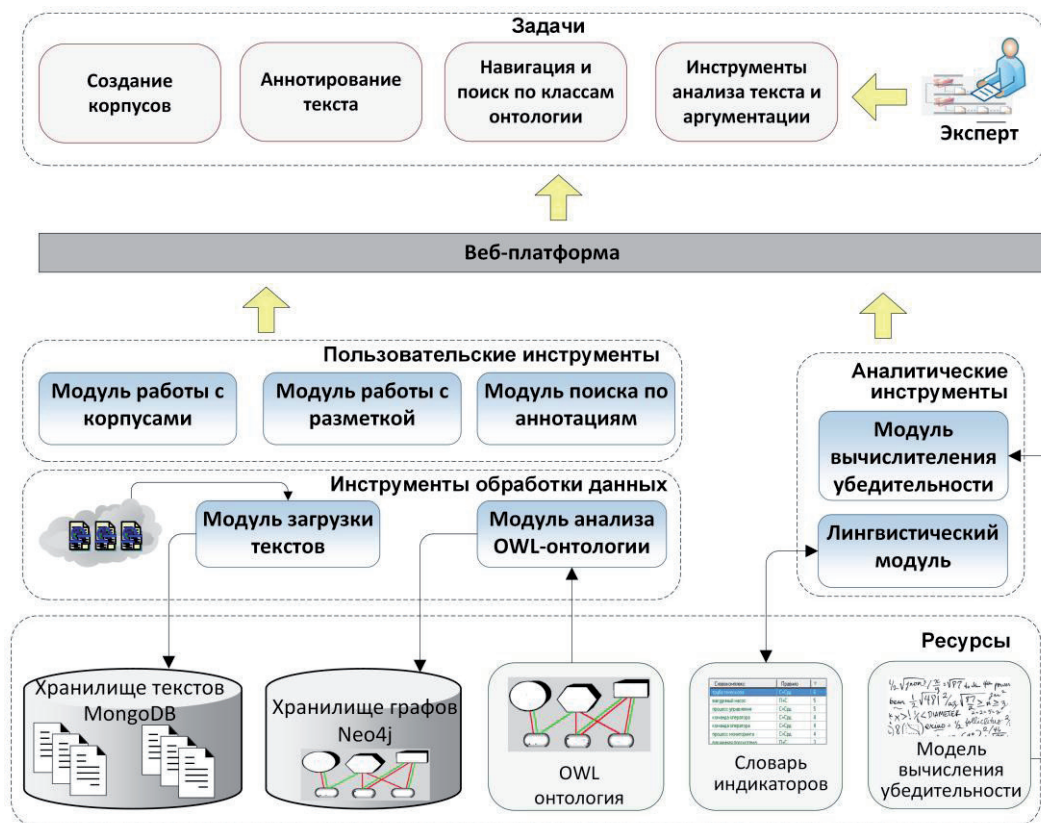


Рисунок 2 – Архитектура платформы для исследования аргументации

Платформа включает ресурсы, инструменты обработки данных, аналитические инструменты и пользовательские инструменты. Платформа поддерживает работу пользователей через веб-интерфейс, обеспечивая решение основных задач, возникающих в процессе построения и анализа аргументации.

Платформа позволяет загружать тексты на ресурс, снабжать их необходимыми метаданными и формировать тематические корпусы текстов (см. рисунок 3), корпусы организуются в иерархию и также снабжаются метаданными.

Основанием для объединения текстов в корпус может быть тематика, источник текста, автор текста, жанр и т.д. В рамках данной работы осуществляется сбор и аннотирование текстов научно-популярного жанра, а корпуса формируются на основе тематических журналов, использованных в качестве источников научно-популярных статей.

Научно-популярный жанр в основном предназначен для предъявления широкой публике результатов научной деятельности и обоснования их состоятельности. Как правило, тексты, написанные в этом жанре, содержат большое количество аргументации, т.е. типовых рассуждений, поддерживающих или опровергающих какой-либо тезис. При этом научно-популярный текст имеет небольшой объём (от 500 до 1000 словоупотреблений), в нём, обычно отсутствуют специальная лексика и явно выраженная структуризация (при помощи глав и подзаголовков).

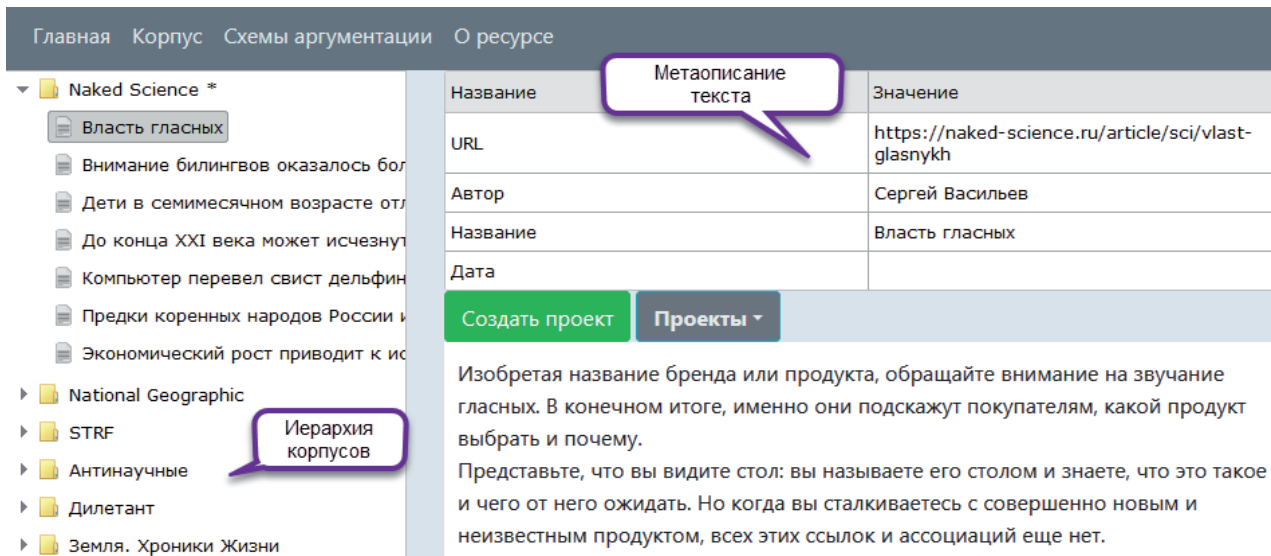


Рисунок 3 – Создание корпуса текстов

Для автоматизации процесса создания корпусов был разработан модуль загрузки текстов, который выполняет следующие задачи:

- загрузка интернет-страниц из открытых источников по ссылкам;
- выделение основного контента и очистка от ненужных элементов разметки;
- анализ контента интернет-страницы и выделение в нём текста публикации, её названия, автора (авторов), даты и тематики (если имеется);
- приведение текста к стандартным формату и кодировке, размещение его в БД системы (тексты снабжаются метаданными; при необходимости формируются новые корпуса).

С помощью автоматизированных средств на текущий момент собрана коллекция научно-популярных текстов объёмом около 3500 статей, сгруппированных по 11 корпусам, которые регулярно пополняются.

При размещении текста в БД системы из него удаляется всё форматирование, реализованное с помощью тэгов, за исключением перевода строки (символа абзаца). В дальнейшем текст редактироваться не может, что связано с особенностями представления аннотаций.

Обеспечение аргументативной разметки (аннотирования) текста – самая трудоёмкая и значимая задача, реализуемая системой. Такая разметка в соответствии с концепцией AIF помимо средств для непосредственной работы с текстом требует инструментов для построения графов и обеспечения методической поддержки исследователя (эксперта), осуществляющего разметку.

На рисунке 4 показаны три различных представления аннотированного текста: а) размеченный текст, б) список аргументов, с) аргументативный граф.

Представление аргументации в размеченном тексте (а) демонстрирует множество размеченных утверждений в связном тексте и дополнительно позволяет в пошаговом режиме просмотреть выделенные аргументы. В этом режиме аргумент показывается выделением всех утверждений, входящих в его состав (посылки и заключение).

Список аргументов (б) позволяет увидеть перечень всех размеченных в тексте аргументов и, в отличие от предыдущего представления, состав каждого аргумента, его схему и имплицитно представленные утверждения (данные утверждения отсутствуют в тексте, но восстанавливаются читателем из внешнего контекста). Совместно с текстовым данное представление даёт полный обзор размеченной аргументации и покрываемых ею фрагментов текста.

Для создания и редактирования аргументации преимущественно используется графовое представление (с). В соответствии с данным представлением множество взаимосвязанных аргументов, размеченных в тексте, называют сетью аргументов или графом аргументации. Онтология *AIF* уже содержит понятия для графового представления аргументов — это класс *Node* и его потомки. На рисунке 4 утверждения (прямоугольные вершины) соответствуют экземплярам информационных вершин (*I-Node*), а аргументы (вершины со скруглёнными краями) — экземплярам *S-Node*.

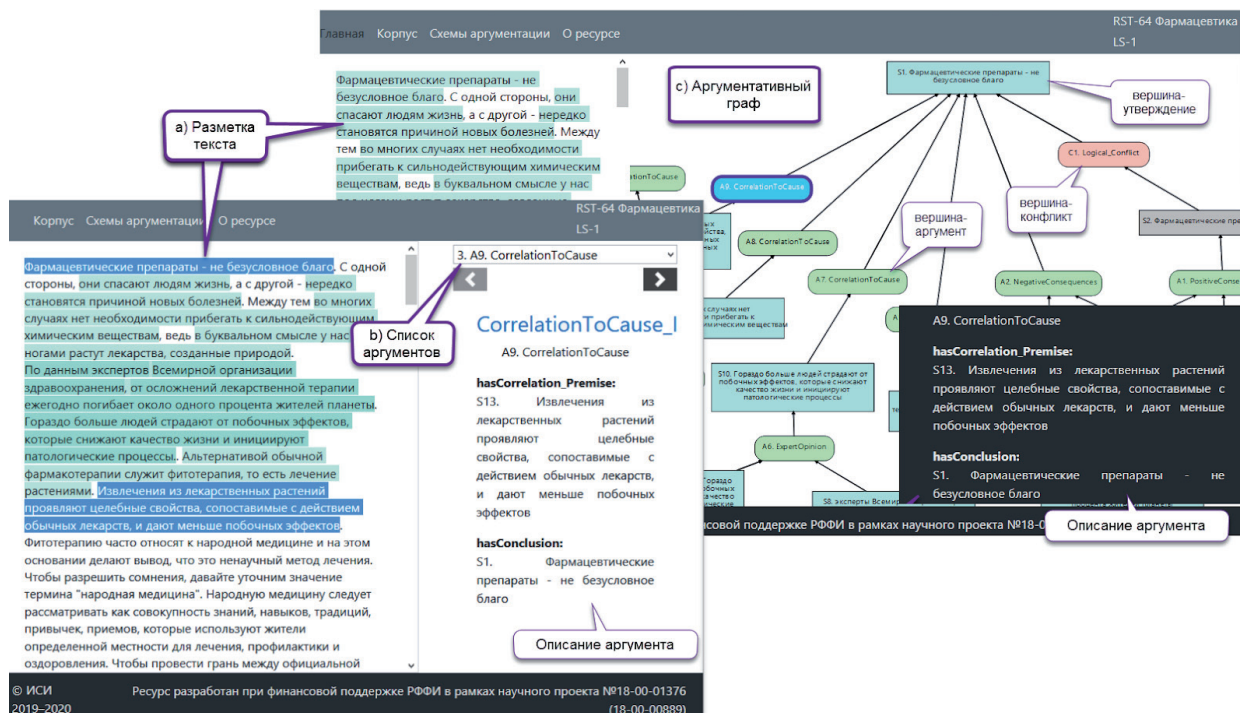


Рисунок 4 – Аргументативная разметка текста

Сценарий работы пользователя включает основной этап, на котором осуществляется построение графа аргументации, и этап, на котором выполняется анализ аргументации.

Основной этап включает следующие шаги:

- сегментация текста с выделением в нём аргументативных дискурсивных единиц (АДЕ) и формирование на их основе утверждений (при формулировании утверждений должны сниматься неоднозначность, разрешаться анафора, восстанавливаться эллипсис и т.п.);
- определение роли для каждой АДЕ (заключение или посылка) и построение направленных отношений — аргументов, связывающих аргументативные единицы;
- детализация структуры аргументов на основе соответствующих схем аргументации;
- выявление имплицитных и эквивалентных утверждений и обеспечение максимальной связности графа.

Для перехода к следующему этапу — анализу и оценке аргументации — полученный граф полезно верифицировать, поскольку даже небольшое изменение в его структуре может повлечь существенные расхождения в итоговой оценке. Автоматическая верификация графа может включать такие процедуры как поиск циклов, анализ связности, учёт текстовых индикаторов аргументации, сравнительный анализ с другими разметками. На данный момент системой поддерживаются первые три возможности. Верификация, осуществляемая пользователями, может заключаться в согласовании мнений нескольких экспертов, а также в проведении сравнительного исследования аргументативных связей (например, анализ корреляции с риторической разметкой [16-17]).

3 Инструменты поддержки исследования аргументации

Поддержка исследования аргументации на предлагаемой платформе обеспечивается следующим набором специализированных средств: поисковым сервисом, позволяющим ознакомиться с уже представленными в системе результатами работы экспертов; лингвистическим модулем, выполняющим предварительную обработку текста, в ходе которой фиксируются специальные языковые конструкции — индикаторы; вычислительным модулем, поддерживающим оценку убедительности представленных в тексте аргументов.

3.1 Поисковый сервис

Поисковый сервис позволяет ориентироваться в представленных корпусах и обеспечивает в них поиск в терминах онтологии аргументации. С его помощью исследователь может найти в аннотированных текстах примеры использования заданных схем аргументации или примеры утверждений, участвующих в аргументах в определённой роли.

На рисунке 5 представлены результаты поиска всех утверждений, участвующих в аргументах, представляющих причинно-следственные связи в текстах (*Causal_Statement*). Результаты поиска отображаются в виде таблицы, в которой для каждого найденного утверждения даются ссылки на текстовый источник (Первоисточник) и аннотацию (Проект), в которых оно встречается, название аргумента (Аргумент), в котором оно участвует, и само утверждение с ближайшим окружением (Контекст).

Таким образом, поисковый сервис позволяет пользователю ознакомиться с примерами употребления тех или иных схем аргументации или утверждений и статистикой их встречаемости в текстах корпуса.

Утверждение «Causal_Statement»			
Описание утверждения		A causes B	
Роли утверждения в аргументации			
Схема аргументации	Роль утверждения в схеме		
CauseToEffect_Inference	Causal_Premise		
CorrelationToCause_Inference	Conclusion Найти примеры		
Первоисточник	Проект	Аргумент	Контекст
*Самые необычные звуки в языках мира	ИльинаД-Л	от причины к с...	одну из песен ее народа — свадебную «Qongqothwane» — в Америке и Европе именуют «The Click Song», поскольку не могут произнести ее оригинальное название
*Самые необычные звуки в языках	ИльинаД-Л	от причины к с...	в Америке и Европе именуют «The Click Song»
*RST-Ling-43	IP-1	CorrelationToCa...	мотивированность неофициальных именованных лица может рассматриваться под разным углом зрения и с учетом разных факторов
*RST-Ling-43	IP-1	CauseToEffect_I...	Экстралингвистическая мотивированность

Рисунок 5 – Поиск утверждений по заданной роли в структуре аргументов

3.2 Анализ индикаторов аргументации

Для привлечения внимания пользователя к аргументам, представленным в тексте явно, и оказания помощи в выделении в тексте границ АДЕ и в выборе схемы аргументации выполняется предварительная лингвистическая обработка текстов, которая позволяет обнаружить в тексте специфические подсказки в виде различного рода словесных клише. Эти клише являются индикаторами, указывающими на факт присутствия аргумента в тексте.

Автоматический поиск индикаторов осуществляется с помощью шаблонных конструкций, описывающих классы языковых выражений, и учитывает возможные грамматические формы, их сочетаемость в многословных цепочках и пунктуацию [18]. Шаблоны формулируются экспертами на основе анализа текстов, содержащих аргументацию, после чего расширяются путём учёта вариантов методами построения образцов с переменными и итерационного поиска [19].

Можно выделить следующие типы соотношений между индикатором и сигнализируемыми им аспектами аргументации:

- 1) сила или убедительность аргумента;
- 2) степень уверенности автора в утверждении;
- 3) отношение вывода между двумя утверждениями (наличие аргументации);
- 4) тип аргументативного отношения (поддержка vs. конфликт);
- 5) роль утверждения в отношении вывода (посылка vs. заключение);
- 6) семантико-онтологическое отношение, на котором основана применяемая в данном случае типовая схема рассуждения;
- 7) структура аргументации (множественная vs. последовательная аргументация).

Аспекты 2–3 и 5–6 соотносят индикатор не столько с аргументом, сколько с конкретным утверждением (или несколькими утверждениями) в структуре аргумента. Аспекты 1, 3 и 7 сигнализируют только о наличии аргументации, что в случае ручной разметки фокусирует внимание эксперта на соответствующих фрагментах текста, а при автоматической — требует наличия других показателей для более точного выявления класса аргумента. Аспекты 1–2 влияют на оценку убедительности аргументации.

Индикаторы, автоматически найденные в тексте, выделяются полужирным шрифтом (см. рисунок 6), привлекая внимание пользователя к фрагментам текста, потенциально содержащим аргументацию. При наведении курсора на индикатор отображается подсказка, где указано имя соответствующего шаблона. В некоторых случаях имя шаблона косвенно указывает на присутствие в тексте аргументов, соответствующих определённой схеме.

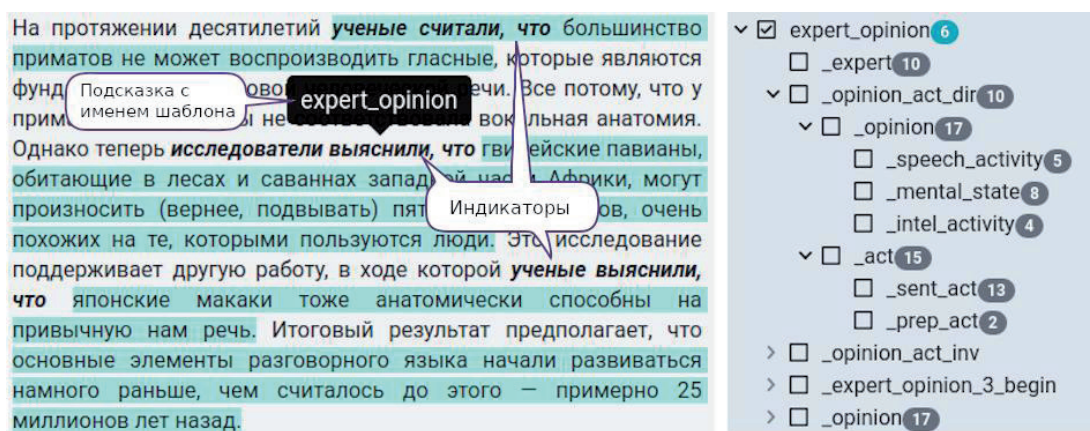


Рисунок 6 – Поиск индикаторов аргументации

В левой части рисунка 6 представлен фрагмент размеченного текста, в котором полужирным шрифтом выделены индикаторы, сигнализирующие о наличии аргументации «От эксперта», а в правой части - фрагмент иерархии шаблонов, в которой пользователь может выбрать те шаблоны, которые он хочет видеть в тексте.

Таким образом, аннотация состоит из множества фрагментов текста, каждому из которых поставлено в соответствие утверждение или индикатор. Аргументы определяются как местные отношения над размеченными текстовыми фрагментами. Роль индикаторов заключается в фиксации свойств и границ аргументов и их структурных элементов.

3.3 Оценка убедительности аргументации

Чтобы оценить, насколько рассматриваемый текст успешен в донесении своих тезисов до читателя, требуется установить, какие в нём используются риторические приёмы и схемы рассуждений (т.е. аргументативные структуры), сравнить их с приемами и схемами, использованными в качественных, с точки зрения убедительности, научно-популярных текстах, а также определить убедительность аргументов исследуемого текста. Для этого необходимы методика оценивания убедительности аргументации и достаточно репрезентативный корпус текстов, содержащий максимально разнообразную аргументацию.

Существуют различные модели численного представления и вычисления убедительности аргументов. Как правило, убедительность выводов, отстаиваемых при помощи аргументов, зависит от убедительности посылок и самих аргументов. Популярным подходом при измерении и вычислении убедительности является рассмотрение степени убедительности как вероятности утверждения оказаться истинным. Это значит, что степень убедительности (вес) выводов, посылок и аргументов представляется числом из интервала от 0 до 1.

При создании веб-платформы применялся специально разработанный алгоритм, основанный на операциях нечёткой логики, в которой определена алгебра истинностных значений. Если рассматривать аргумент как имеющее определённую силу доказательство некоторого утверждения, то чем более обосновано утверждение, тем большей полагается степень его истинности.

Упомянутый алгоритм по заданным экспертом весам посылок и аргументов вычисляет веса выводов, в том числе проводит вычисления по цепочке, когда вывод одного аргумента одновременно является посылкой для другого, как это показано на рисунке 7, или когда в графе помимо выводов содержатся и конфликтующие с ними тезисы. При этом очевидно, что цепочка рассуждений в графе не должна зацикливаться, так как в противном случае убедительность вывода будет зависеть в том числе от себя самой, и вычисление не будет корректным. Каждой вершине графа соответствуют три веса: начальный вес; вес, вычисленный без учёта конфликтных ситуаций (только выводы); вес, вычисленный с учётом атак со стороны конфликтующих утверждений (если таковые имеются).

Следует заметить, что эксперты могут заранее задать каждой схеме аргументации так называемый априорный вес, учитывающий образ мышления и систему ценностей одной из трёх аудиторий: «широкая публика», «научная аудитория», «школьники». Априорный вес схемы аргументации по умолчанию используется в качестве начального веса всех построенных на её основе аргументов графа, если исследователь сам их не задаст.

Отсюда следует, что графы аргументации, построенные для разных аудиторий, могут не совпадать. В целом, каждый текст в корпусе может иметь произвольное количество независимых аннотаций.

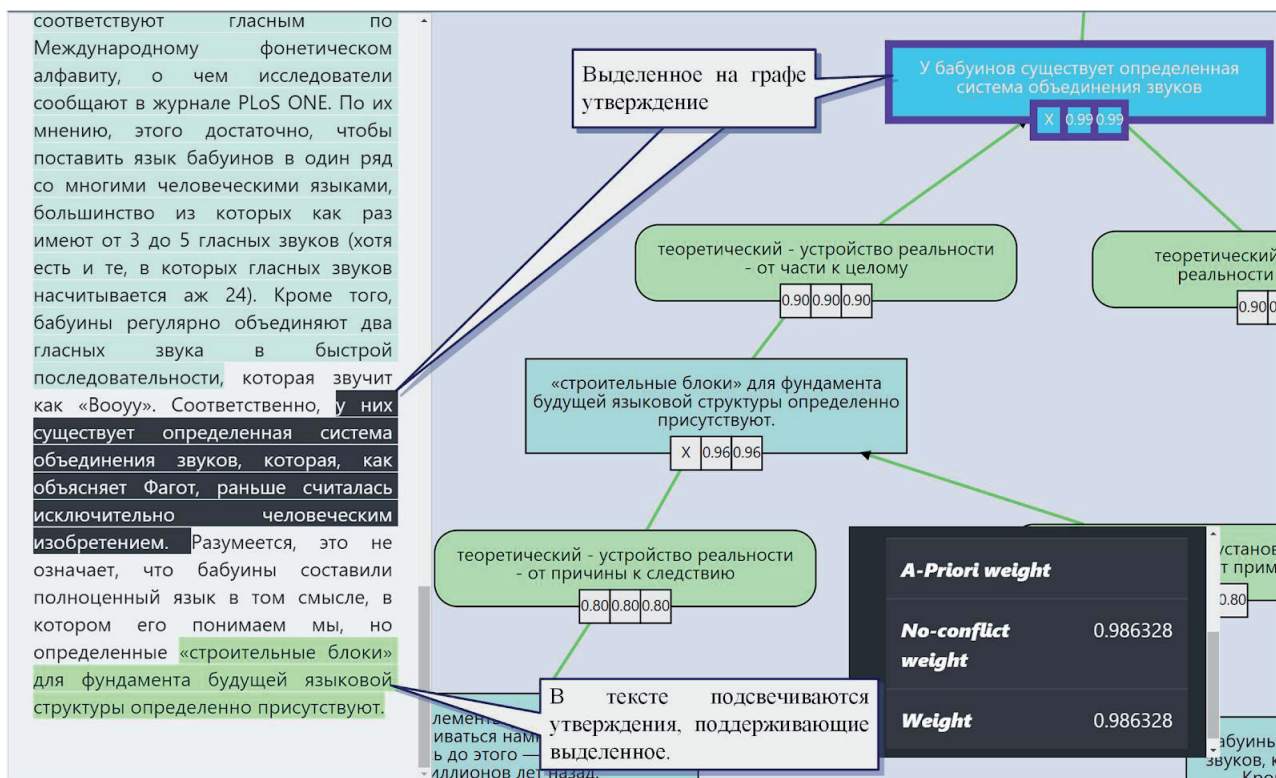


Рисунок 7 – Пример убедительности аргументации

Заключение

Предложенный в работе подход к исследованию аргументации в научно-популярных текстах включает два этапа:

- этап аннотирования текстов и построения графов аргументации на основе знаний о типовых схемах рассуждений и примеров их употребления в корпусе,
- анализ статистики употребления типовых схем рассуждений в исследуемом корпусе и оценку убедительности аргументации относительно различных аудиторий.

Разработан набор инструментов для поддержки исследования аргументации, интегрированных в единую веб-платформу, которая позволяет создавать корпуса текстов, извлекать индикаторы аргументации, снабжать тексты аргументативной разметкой, осуществлять поиск в терминах онтологии и анализировать качество аргументации на основе реализованных в системе моделей вычисления убедительности.

С помощью предложенной методики и разработанных инструментов было собрано 112 корпусов, включающих 2 360 текстов научно-популярного жанра, 109 из которых было размечено и для них построено 146 графов аргументации. Созданные корпуса планируется сделать открытыми для других исследователей.

Одним из важнейших направлений развития предложенного инструментария является включение в него средств для расширения набора типовых схем аргументации, что будет способствовать развитию теории аргументации.

Благодарности

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

Список источников

- [1] **Lawrence, J.** Argument mining: A survey / J. Lawrence, C. Reed // *Int. J. of Computational Linguistics*. – 2019. – Vol. 45(4). – P.765-818.
- [2] **Reed, C.** Araucaria: Software for argument analysis, diagramming and representation / C. Reed, G. Rowe // *Int. J. on Artificial Intelligence Tools*. – 2004. – Vol. 13(4). – P.961-979.
- [3] **Stab, C.** Identifying Argumentative Discourse Structures in Persuasive Essay / C. Stab, I. Gurevych // *Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP): Proc. of the Int. Conf. (Doha, Qatar)*. – 2014. – P.46–56.
- [4] **Peldszus, A.** An annotated corpus of argumentative microtexts / A. Peldszus, M. Stede // *Argumentation and Reasoned Action: Proc. of the 1st European Conference on Argumentation*. – London: College Publications, 2016. – Vol. 2. – P.801–816.
- [5] **Bex, F.** ArguBlogging: An application for the argument web / F. Bex, M. Snaith, J. Lawrence, C. Reed // *Int. J. of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*. – 2014. – Vol. 25. – P.9-15.
- [6] **Walton, D.** Argumentation schemes / D. Walton, C. Reed, F. Macagno. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 443 p.
- [7] Корпус *AIFdb*. – <http://corpora.aifdb.org/>.
- [8] **Bex, F.** Implementing the argument web / F. Bex, J. Lawrence, M. Snaith, C. Reed // *Int. J. of Communications of the ACM*. – 2013. – Vol. 56(10). – P.66–73.
- [9] **Bex, F.** Dialogue templates for automatic argument processing / F. Bex, C. Reed // *Computational Models of Argument: Proc. of the 4th Int. Conf. COMMA 2012 (Vienna)*. – IOS Press, 2012. – P.366-377.
- [10] **Van Gelder, T.** The rationale for rationale / Tim van Gelder // *Int. J. of Law, Probability and Risk*. – 2007. – Vol. 6(1–4). – P.23-42.
- [11] **Gordon, T.F.** The Carneades model of argument and burden of proof / T.F. Gordon, H. Prakken, D. Walton // *Int. J. of Artificial Intelligence*. – 2007. – Vol. 171(10). – P.875–896.
- [12] **Kirschner, C.** Linking the thoughts: Analysis of argumentation structures in scientific publications / C. Kirschner, J. Eckle-Kohler, I. Gurevych // *Argumentation Mining: Proc. of the 2nd Workshop*. – Denver, CO. - 2015. - P.1-11.
- [13] **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.
- [14] **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.
- [15] **Загорюлько, Ю.А.** Моделирование аргументации в научно-популярном дискурсе с использованием онтологий / Ю.А. Загорюлько, 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.
- [16] **Musi, E.** A Multi-layer Annotated Corpus of Argumentative Text: From Argument Schemes to Discourse Relations / E. Musi, T. Alhindi, M. Stede, L. Kriese, S. Muresan, A. Rocci A. // *Language Resources and Evaluation (LREC'2018): Proc. of the 11th Int. Conf. (Miyazaki, Japan)*. – 2018. – P.1629-1636.
- [17] **Kononenko, I.S.** Comparative analysis of rhetorical and argumentative structures in the study of popular science discourse / I.S. Kononenko, E.A. Sidorova, I.R. Akhmadeeva // *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proc. of the Int. Conf. "Dialogue"*. – 2020. – Vol. 19 (26). – P.432-444.
- [18] **Сидорова, Е.А.** Подход к моделированию процесса извлечения информации из текста на основе онтологии / Е.А. Сидорова // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т.8, №1(27). – С.134-151. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-134-151.
- [19] **Ахмадеева, И.Р.** Подход к построению шаблонов индикаторов для извлечения аргументов из научно-популярных текстов / И.Р. Ахмадеева, И.С. Кононенко, Н.В. Саломатина, Е.А. Сидорова // *Знания - Онтология - Теории: Труды международной конф. (ЗОНТ-2019)*. – Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирский государственный университет, 2019. – С.24-32.

Сведения об авторах



Сидорова Елена Анатольевна, 1977 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет в 2000 г., к.ф.-м.н. (2006). Старший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, старший преподаватель кафедры программирования Новосибирского государственного университета член Российской и Европейской ассоциаций искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 130 работ в области компьютерной лингвистики, мультиагентных систем, представления знаний и онтологического инжиниринга. Author ID (РИНЦ): 146000; ORCID: 0000-0001-8731-3058; Author ID (Scopus): 41961707000; Researcher ID (WoS): K-2432-2018.

lsidorova@iis.nsk.su.

Ахмадеева Ирина Равильевна, 1991 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет в 2015 г. Младший научный сотрудник Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, ассистент кафедры программирования Новосибирского государственного университета. В списке научных трудов более 20 работ в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем и компьютерной лингвистики. Author ID (РИНЦ): 874172; ORCID: 0000-0002-7371-1087; Author ID (Scopus): 57188681471; Researcher ID (WoS): K-3145-2018. *i.r.akhmadeeva@iis.nsk.su.*



Загорюлько 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 кафедры систем информатики Новосибирского государственного университета. Член Российской и Европейской ассоциаций искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 270 публикаций в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования и компьютерной лингвистики. Author ID (РИНЦ): 4015; ORCID: 0000-0002-7111-6524; Author ID (Scopus): 23394231500; Researcher ID (WoS): R-1826-2016. *zagor@iis.nsk.su.*

Серый Алексей Сергеевич, 1987 г. рождения. Окончил Новосибирский государственный университет в 2010 г. Младший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. В списке научных трудов более 20 работ в области представления знаний и компьютерной лингвистики. Author ID (РИНЦ): 714554; ORCID: 0000-0001-8275-4700; Author ID (Scopus): 56403204900; Researcher ID (WoS): K-1557-2018. *alexey.seryj@iis.nsk.su.*



Шестаков Владимир Константинович, 1986 г. рождения. Окончил Новосибирский государственный университет в 2009 г. Младший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. В списке научных трудов более 20 работ в области разработки информационных систем, в том числе с использованием вики-технологий и онтологий. Author ID (РИНЦ): 711994; Author ID (Scopus): 56439120800; Researcher ID (WoS): J-8288-2018. *shestakov@iis.nsk.su.*



Поступила в редакцию 26.10.2020, после рецензирования 11.12.2020. Принята к публикации 17.12.2020.

Research platform for the study of argumentation in popular science discourse

E.A. Sidorova, I.R. Akhmadeeva, Yu.A. Zagorulko, A.S. Sery, V.K. Shestakov

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract

The paper discusses a software system designed to support the study of argumentation in Russian-language popular science texts. This system is based on an ontology built on modern principles of argumentation modeling. In particular, this ontology contains formal descriptions of typical reasoning schemes that are used for annotating texts, analyzing the

arguments presented in them, and assessment of its persuasiveness relative to a given audience. A method of argumentative marking of a text is proposed, which provides the allocation of statements and the construction on their basis of an argumentation graph using knowledge about typical reasoning schemes. The paper also describes a set of web tools that provide the creation of thematic corpora, visualization of the argumentation ontology used, the construction of the argumentation graph, the selection of argumentation indicators in the texts, as well as the search for various entities in the text corpora in ontology terms. Analytical tools are presented by means of collecting statistical information on the occurrence of typical elements of argumentation in the body of texts, by means of researching indicators of argumentation and by means of analyzing the persuasiveness of argumentation. The novelty of the work consists in the development of an original methodology for studying argumentation in popular science discourse, based on the ontology of argumentation and supported by a specialized web platform.

Key words: popular science discourse, ontology of argumentation, argumentative markup of text, argumentation scheme, indicator of argumentation, persuasiveness of argumentation.

Citation: Sidorova EA, Akhmadeeva IR, Zagorulko YuA, Sery AS, Shestakov VK. Research platform for the study of argumentation in popular science discourse [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 489-502. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-489-502.

Acknowledgment: The paper was prepared based on the results of a study conducted as part of the project of the Russian Foundation for Basic Research No. 18-00-01376 (18-00-00889).

List of figures

- Figure 1 - Example of the argument scheme *Example_Inference* and its meta description
- Figure 2 - The architecture of the platform for argumentation study
- Figure 3 - Creating a text corpus
- Figure 4 - Argumentative markup of text
- Figure 5 - Search for statements by a given role in the structure of arguments
- Figure 6 - Search for indicators of argumentation
- Figure 7 - An example of the persuasiveness of the argumentation

References

- [1] Lawrence J, Reed C. Argument mining: A survey. *Int. J. of Computational Linguistics* 2019; 45(4): 765-818.
- [2] Reed C, Rowe G. Araucaria: Software for argument analysis, diagramming and representation. *Int. J. on Artificial Intelligence Tools* 2004; 13(4): 961-979.
- [3] Stab C, Gurevych I. Identifying Argumentative Discourse Structures in Persuasive Essay. *Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP): Proc. of the Int. Conf. (Doha, Qatar)*; 2014: 46–56.
- [4] Peldszus A, Stede M. An annotated corpus of argumentative microtexts. *Argumentation and Reasoned Action: Proc. of the 1st European Conference on Argumentation*. London: College Publications; 2016; 2: 801–816.
- [5] Bex F, Snaith M, Lawrence J, Reed C. ArguBlogging: An application for the argument web. *Int. J. of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*; 2014; 25: 9-15.
- [6] Walton D, Reed C, Macagno F. *Argumentation schemes*. Cambridge: Cambridge University Press; 2008.
- [7] Corpus AIFdb. Source: <http://corpora.aifdb.org/>.
- [8] Bex F, Lawrence J, Snaith M, Reed C. Implementing the argument web. *Int. J. of Communications of the ACM* 2013; 56(10): 66–73.
- [9] Bex F, Reed C. Dialogue templates for automatic argument processing. *Computational Models of Argument: Proc. of the 4th Int. Conf. COMMA 2012 (Vienna)*. IOS Press; 2012: 366-377.
- [10] Van Gelder T. The rationale for rationale. *Int. J. of Law, Probability and Risk* 2007; 6(1–4): 23-42.
- [11] Gordon TF, Prakken H, Walton D. The Carneades model of argument and burden of proof. *Int. J. of Artificial Intelligence*; 2007; 171(10): 875–896.
- [12] Kirschner C, Eckle-Kohler J, Gurevych I. Linking the thoughts: Analysis of argumentation structures in scientific publications. *Argumentation Mining: Proc. of the 2nd Workshop*. Denver, CO; 2015: 1-11.
- [13] 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.

- [14] *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.
 - [15] *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.
 - [16] *Musi E, Alhindi T, Stede M, Kriese L, Muresan S, Rocci A.* A Multi-layer Annotated Corpus of Argumentative Text: From Argument Schemes to Discourse Relations. *Language Resources and Evaluation (LREC'2018): Proc. of the 11th Int. Conf. (Miyazaki, Japan) 2018:* 1629-1636.
 - [17] *Kononenko IS, Sidorova EA, Akhmadeeva IR.* Comparative analysis of rhetorical and argumentative structures in the study of popular science discourse. *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proc. of the Int. Conf. "Dialogue" 2020;* 19(26): 432-444.
 - [18] *Sidorova EA.* An approach to modeling the process of information extracting based on ontology [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 1(27):134-151. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-134-151.
 - [19] *Akhmadeeva IR, Kononenko IS, Salomatina NV, Sidorova EA.* An approach to building indicator templates for extracting arguments from popular science texts [In Russian]. *Knowledge-Ontology-Theory (KONT-19): Proc. of Russian Conf. Novosibirsk. Mathematics Institute of SB RAS; Novosibirsk State University;* 2019: 24-32.
-

About the authors

Elena Anatolievna Sidorova (b. 1977) graduated from the Novosibirsk State University in 2000, PhD (2006). She is a Senior Researcher of the Laboratory of Artificial Intelligence at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, Senior Lecturer at Novosibirsk State University. She is a member of Russian and European Associations for Artificial Intelligence. Dr. Sidorova has about 130 peer-reviewed publications in the field of NLP Systems, Multi-agent Systems, Knowledge Representation, and Ontology Engineering. Author ID (RSCI): 146000; ORCID: 0000-0001-8731-3058; Author ID (Scopus): 41961707000; Researcher ID (WoS): K-2432-2018. *lsidorova@iis.nsk.su*.

Irina Ravilevna Akhmadeeva (b.1991) graduated from the Novosibirsk State University in 2015. She is a Junior Researcher at A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, Assistant Lecturer at Novosibirsk State University. She is the author of more than 20 publications in the fields of AI, Intelligent System Development and NLP. ORCID: 0000-0002-7371-1087; Author ID (RSCI): 874172; Author ID (Scopus): 57188681471; Researcher ID (WoS): K-3145-2018. *i.r.akhmadeeva@iis.nsk.su*.

Yury Alekseevich Zagorulko (b.1957) graduated from the Novocherkassk Polytechnic Institute in 1979, PhD (1989). He is the Head of Laboratory at A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, 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 270 publications in the fields of AI, Knowledge and Ontology Engineering, Intelligent System Development and Computational Linguistics. Author ID (RSCI): 4015; ORCID: 0000-0002-7111-6524; Author ID (Scopus): 23394231500; Researcher ID (WoS): R-1826-2016. *zagor@iis.nsk.su*

Alexey Sergeevich Sery (b.1987) holds a master's degree in mathematics from Novosibirsk State University (2010) and the position of Junior Researcher at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS. He is the author of more than 20 papers in the fields of NLP systems and Knowledge Representation. Author ID (RSCI): 714554; ORCID: 0000-0001-8275-4700; Author ID (Scopus): 56403204900; Researcher ID (WoS): K-1557-2018. *alexey.seryj@iis.nsk.su*

Vladimir Konstantinovich Shestakov (b. 1986) graduated from the Novosibirsk State University in 2009. He is a Junior Researcher of the Artificial Intelligence Laboratory at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS. He is the author of more than 20 publications in the fields of developing information systems, including using wiki technologies and ontologies. Author ID (RSCI): 711994; Author ID (Scopus): 56439120800; Researcher ID (WoS): J-8288-2018. *shestakov@iis.nsk.su*

Received October 26, 2020. Revised December 11, 2020. Accepted December 12, 2020.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 004.89, 004.832

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-503-515

Компактное представление ограничений на основе новой интерпретации понятия «кортеж многоместного отношения»**А.А. Зуенко**

Институт информатики и математического моделирования – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Мурманской обл., Россия

Аннотация

Рассматриваются различные точки зрения на понятие «кортеж многоместного отношения», используемые в математике и информационных технологиях. Особое внимание уделено эволюции понятия «кортеж» в рамках технологии программирования в ограничениях - *Constraint Programming*, где появление новых интерпретаций понятия «кортеж» связано с попытками разработать более компактное табличное представление качественных зависимостей, чем обычные реляционные таблицы. Подобное компактное представление может служить основой для ускорения процедур удовлетворения качественных ограничений. В работах-прототипах были предложены такие разновидности табличных ограничений как *compressed*-таблицы и *smart*-таблицы. При этом понятия *compressed*- и *smart*- кортежа существенно отличаются от традиционного понятия кортежа многоместного отношения. Однако, известные виды табличных ограничений не одинаково хорошо подходят для моделирования и обработки всех видов качественных зависимостей, например, возникают неудобства при моделировании продукционных правил. В статье предлагается новый вид табличных ограничений – *smart*-таблицы *D*-типа, применение которых позволяет в некоторых случаях существенно сократить расход памяти компьютера по сравнению с использованием известных типов табличных ограничений. В частности, *smart*-таблицы *D*-типа хорошо подходят для моделирования продукционных правил, некоторых типов логических выражений, а также некоторых типов глобальных ограничений.

Ключевые слова: *кортеж многоместного отношения, технология программирования в ограничениях, задача удовлетворения ограничений, табличные ограничения, качественные ограничения.*

Цитирование: *Зуенко, А.А. Компактное представление ограничений на основе новой интерпретации понятия «кортеж многоместного отношения» / А.А. Зуенко // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С.503-515. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-503-515.*

Введение

В современных информационных системах, особенно тех, что связаны с применением методов искусственного интеллекта, для описания связей между объектами часто используют понятие «отношение», а для обозначения элемента отношения – понятие «кортеж». К таким системам, например, относятся системы: моделирования рассуждений [1, 2]; онтологического инжиниринга [3]; управления базами данных (СУБД) [4]; программирования в ограничениях (*Constraint Programming - CP*) [5, 6] и т.п. Однако оказывается, что в известных автору работах присутствуют различные взгляды на такие понятия, как «многоместное отношение» и «кортеж многоместного отношения». Игнорирование этих различий может привести к неверному пониманию выдвигаемых научных идей.

В статье рассматриваются различные трактовки понятия «кортеж многоместного отношения», используемые в математике и информационных технологиях. Особое внимание уделено эволюции понятия «кортеж» в рамках технологии *СР*. Базовым в рамках данной технологии является понятие ограничения, которое по смыслу очень близко понятию многоместного отношения. Основной раздел посвящён развитию технологии *СР* в части повышения эффективности обработки качественных ограничений, таких как: продукционные правила, логические выражения, бинарные и многоместные отношения и т.п. В настоящий момент процедуры удовлетворения качественных зависимостей, поддерживаемые существующими библиотеками *СР*, недостаточно эффективны. Перспективным подходом к представлению и обработке качественных ограничений следует признать подход, основанный на применении их специализированного табличного представления. В рамках *СР* был выделен отдельный класс глобальных ограничений – табличные ограничения. Простейшим примером табличных ограничений являются реляционные таблицы. В виде реляционных таблиц, содержащих множество выполняющих подстановок, может быть представлен любой конечный предикат. Однако, такое эксплицитное представление для многих отношений нецелесообразно, поскольку приводит к экспоненциальному росту сложности процедур удовлетворения ограничений. Поэтому предпринимаются попытки разработать более компактное табличное представление качественных зависимостей [7-10].

Несмотря на предпринимаемые усилия, известные виды табличных ограничений не одинаково хорошо подходят для моделирования и обработки всех видов качественных зависимостей, например, возникают неудобства при моделировании продукционных правил. В работе предлагается новый тип табличных ограничений – *smart*-таблицы *D*-типа, а также приводятся утверждения, позволяющие эффективно редуцировать вводимые табличные структуры, сохраняя множество решений исходной задачи. Применение *smart*-таблиц *D*-типа позволяет в некоторых случаях существенно сократить расход памяти компьютера по сравнению с известными типами табличных ограничений.

1 Разбор понятия «кортеж многоместного отношения»

1.1 Понятия «кортеж» и «многоместное отношение»

«Кортеж», как и понятие «множество», относится к первичным понятиям (т.е. не определяемым строго) [11].

Под кортежем традиционно понимается упорядоченный набор конечного числа объектов любой природы. Число объектов называется длиной кортежа, а сами объекты – компонентами кортежа. Кортеж длиной 2 называется парой, длиной 3 – тройкой, длиной n – n -кой.

Отличие кортежа от конечного множества состоит в следующем. Во-первых, в кортеже его компоненты могут совпадать. Например, кортеж всех букв в слове «математика» – это набор букв (м, а, т, е, м, а, т, и, к, а). Во-вторых, в кортеже очень важен порядок, в котором расположены его компоненты.

Вместо слова «кортеж» в математической литературе употребляются также в качестве синонимов термины «вектор», «набор».

Традиционно в математике под многоместным отношением понимают некоторое подмножество декартова (прямого) произведения множеств.

Определение 1.1. (Декартово произведение конечного семейства множеств).

Пусть имеется n множеств X_1, \dots, X_n , тогда их декартово произведение определяется как $X_1 \times \dots \times X_n = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x_i \in X_i\}$, где запись (x_1, x_2, \dots, x_n) обозначает упорядоченную n -ку, в которой первая компонента принадлежит X_1 , вторая – X_2 и т.д. [11].

Определение 1.2. (Многоместное отношение). Отношением между множествами X_1, \dots, X_n называется любое подмножество их декартова произведения $R \subseteq X_1 \times \dots \times X_n$. Если требуется явно указать число n , то говорят об n -арных или n -местных отношениях. При $n = 1, 2, 3$ имеем унарное, бинарное, тернарное отношения соответственно. Унарное отношение на множестве X представляет собой подмножество множества X [11].

При табличном представлении многоместного отношения (как подмножества декартова произведения множеств) столбцу таблицы сопоставляется имя некоторого множества, из тех, что участвует в декартовом произведении. При этом, в результате перестановки строк таблицы получается таблица, представляющая то же самое отношение, а при перестановке столбцов получается формально другое отношение.

Пример. Пусть заданы множества $X = \{a, b, c\}$ и $Y = \{1, 2\}$. Необходимо удостовериться, что: $X \times Y \neq Y \times X$. При этом $X \times Y$ и $Y \times X$ являются *универсальными отношениями*.

Тогда: $X \times Y = \{(a, 1), (a, 2), (b, 1), (b, 2), (c, 1), (c, 2)\}$ и $Y \times X = \{(1, a), (2, a), (1, b), (2, b), (1, c), (2, c)\}$. Из сопоставления между собой кортежей этих отношений видно, что это два совершенно разных отношения.

В классическом определении многоместного отношения, в отличие от интерпретации, принятой в реляционной алгебре, отсутствует понятие «атрибут». Поэтому в реляционной алгебре имеют дело с абсолютно другим математическим объектом, обладающим отличающимися свойствами, но тоже называемым «отношение», что часто приводит к путанице. При табличном задании отношений реляционной алгебры столбцу таблицы сопоставляется некоторый атрибут. Отличается также от классического и интерпретация понятия «кортеж».

1.2 Формализация понятия «кортеж» в реляционной алгебре

В реляционной алгебре схемой *отношения* R называется конечное множество имен атрибутов $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ [4]. Каждому имени атрибута A_i ставится в соответствие множество D_i , называемое *доменом* атрибута A_i , $1 \leq i \leq n$. Домены являются произвольными непустыми конечными или счётными множествами.

Пусть $\mathbf{D} = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_n$. *Отношение* r со схемой R – это конечное множество отображений $\{t_1, t_2, \dots, t_p\}$ из R в \mathbf{D} , причём каждое отображение $t \in r$ должно удовлетворять следующему ограничению: $t(A_i) \in D_i$, $1 \leq i \leq n$. Эти отображения называются *кортежами*. В данной формализации понятие отношения вводится через понятие отображения, чтобы избежать любого упорядочения имен атрибутов в схеме отношения. В рассматриваемой формализации расширяется традиционное понимание кортежа как последовательности значений, заданной в определённом порядке. Под кортежем понимается множество значений, взятых по одному для каждого имени атрибута из схемы отношения.

Пусть имеется n ($n > 0$) не обязательно различных доменов D_1, D_2, \dots, D_n . Пусть имеется n атрибутов (переменных) A_1, A_2, \dots, A_n .

Поскольку *кортеж* в реляционной алгебре рассматривается как отображение, то он может задаваться как множество пар (A, v) , где A – некоторый атрибут, а v – значение, взятое из домена атрибута A .

Таким образом, *отношение* состоит из множества кортежей, и каждый кортеж имеет одно и то же множество атрибутов. Если все домены являются простыми, то такое отношение имеет табличное представление со следующими свойствами:

- не существует дубликатов строк (кортежей);
- порядок строк (кортежей) является несущественным;
- порядок столбцов (атрибутов) является несущественным;
- все элементы таблицы являются атомарными значениями.

1.3 Эволюция понятия «кортеж» в рамках технологии CP

Для того, чтобы прикладная задача могла быть решена с применением технологии программирования в ограничениях, она должна быть представлена в форме *задачи удовлетворения ограничений* (*Constraint Satisfaction Problem – CSP*).

Задача удовлетворения ограничений состоит из трёх компонент: $\langle X, D, C \rangle$ [12]. X – множество переменных $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, D – множество доменов $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, где D_i является доменом переменной X_i ; C – множество ограничений $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, которые предписывают допустимые комбинации значений переменных. Каждый домен D_i описывает множество допустимых значений $\{v_1, \dots, v_k\}$ для переменной X_i . Каждое ограничение есть пара $\langle scope, rel \rangle$, где $scope$ – множество переменных, которые участвуют в ограничении, а rel – отношение, регламентирующее допустимые комбинации значений, которые переменные из $scope$ могут принимать.

Задача описывается как *присваивание* значений некоторым (*частичное присваивание*) или всем переменным (*полное присваивание*): $\{X_i = v_i, X_j = v_j, \dots\}$. *Решением задачи CSP* является полное присваивание, которое удовлетворяет всем ограничениям.

Для различных типов ограничений разрабатываются свои способы вывода на данных ограничениях, при этом процедура вывода называется *распространением ограничений*. Любая система программирования в ограничениях обладает библиотекой стандартных функций-распространителей для обработки наиболее популярных типов ограничений. Как правило, подобные ограничения содержат нефиксированное количество переменных и носят название глобальных ограничений, например ограничение *Alldiff* (X_1, \dots, X_k) [13].

В настоящей работе рассматривается такая разновидность глобальных ограничений, как табличные ограничения [14], а также процесс эволюции, которую претерпело понятие кортежа в контексте обработки табличных ограничений.

В форме обычной таблицы, содержащей множество выполняющих подстановок, может быть описан любой конечный предикат. В этом случае трактовка понятия «кортеж» мало чем отличается от традиционной. Теоретически, в форме табличного ограничения можно представить любой тип ограничения, в силу чего данная разновидность глобальных ограничений является полезным инструментом для моделирования задач комбинаторного поиска в рамках парадигмы программирования в ограничениях.

Например, предикат $(X_1 < X_2) \wedge (X_3 \neq t)$, где домены переменных X_1 и X_2 равны множеству $\{1, 2, 3\}$, а доменом переменной X_3 является множество $\{t, k, r\}$, может быть описан следующим образом:

$$\begin{array}{ccc} X_1 & X_2 & X_3 \\ \left[\begin{array}{ccc} 1 & 2 & k \\ 1 & 2 & r \\ 1 & 3 & k \\ 1 & 3 & r \\ 2 & 3 & k \\ 2 & 3 & r \end{array} \right]. \end{array}$$

Однако, явное перечисление всех допустимых присваиваний приводит к экспоненциальному росту размера таблиц при росте количества переменных. Поиск на подобных таблицах возможен лишь при малой размерности решаемых задач *CSP*.

В последние годы в рамках технологии *CP* появляется много подходов, посвящённых

более компактному представлению табличных ограничений [7-10, 15, 16]. Один из них состоит в изменении классического понятия кортеж и введении в рассмотрение нового понятия – *compressed*-кортеж (*compressed tuple*) [7-9]. В отличие от обычных кортежей, *compressed*-кортежи содержат в своих компонентах не отдельные значения переменных, а подмножества значений соответствующего домена. Целиком *compressed*-кортеж соответствует декартову произведению компонент-множеств. Таблица, содержащая *compressed*-кортежи, называется *compressed*-таблицей (*compressed table*).

Ранее рассмотренному предикату $(X_1 < X_2) \wedge (X_3 \neq t)$ соответствует следующая *compressed*-таблица:

X_1	X_2	X_3
{1}	{2, 3}	{ k, r }
{2}	{3}	{ k, r }

Дальнейшая эволюция понятия «кортеж» заключалась в том, что в [10] было предложено обобщить понятия *compressed*-кортежей и коротких поддержек (*short supports*) [15] до понятия *smart*-кортежи (*smart tuple*). В описании компонент таблицы было разрешено вместо явного перечисления подмножества элементов соответствующего домена использовать обозначения некоторых одноместных и двуместных предикатов, моделирующих простые арифметические выражения. Таблицы, состоящие из *smart*-кортежей, называются *smart*-таблицами (*smart table*). Ниже приводится *smart*-кортеж, который соответствует упомянутому ранее предикату:

X_1	X_2	X_3
$< X_2$	*	$\neq t$

Обозначение фиктивной компоненты “*” используется здесь для указания того факта, что на месте переменной X_2 может находиться любое значение из домена данной переменной. Стоит заметить, что до введения понятия «*smart*-таблица» подобные структуры рассматривались автором в работе [16].

2 Представление исходной задачи удовлетворения ограничений с использованием *smart*-таблиц *D*-типа и организация логического вывода

Из приведённых примеров *compressed*-таблиц и *smart*-таблиц видно, что эти структуры хорошо подходят для моделирования дизъюнктивных нормальных форм логических формул.

Однако, с помощью известных типов табличных ограничений не всегда целесообразно описывать некоторые виды знаний, например продукционные правила.

Пример 1. Имеется следующее продукционное правило: «Если человеку больше 65 лет и у него имеется основной диагноз, отнесённый к списку $M = \{\text{сахарный диабет, заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистые заболевания}\}$, то риск заражения COVID-19 оценивается как высокий».

Для формализации данного правила в виде ограничения введены три переменные: X – целочисленная переменная, обозначающая возраст человека и имеющая домен $[0, 150]$; Y – переменная, обозначающая основной диагноз человека и принимающая возможные значения из списка возможных медицинских диагнозов; Z – переменная, обозначающая риск заражения и принимающая значения из множества $\{a$ – высокий, b – низкий, c – средний}.

На языке логических формул данное ограничение может быть представлено следующим образом: $(X \geq 65) \wedge (Y \in M) \rightarrow (Z = a)$.

Раскрытие в данном выражении импликации приводит к записи: $(X < 65) \vee (Y \notin M) \vee (Z = a)$. С помощью *smart*-таблиц это ограничение может быть представлено так:

X	Y	Z
< 65	*	*
*	$\notin M$	*
*	*	$Z = a$

Данное табличное представление при трёх значащих компонентах содержит шесть фиктивных компонент “*”. В данном иллюстративном примере видно, что использование табличных ограничений известных типов является нерациональным с точки зрения компактного представления данных.

Для эффективной обработки качественных ограничений предлагается использовать новый тип представления ограничений, а именно, *smart-таблицы D-типа*.

В отличие от широко распространенных *smart*-таблиц *C*-типа, которые соответствуют дизъюнктивным нормальным формам логических формул с элементарными одно и двуместными предикатами, *smart*-таблицы *D*-типа соответствуют конъюнктивным нормальным формам таких формул. Происхождение терминов *smart*-таблица *C*-типа и *smart*-таблица *D*-типа обусловлено тем, что первый тип таблиц состоит из *smart*-кортежей *C*-типа (от *Conjunction*), которые служат для представления конъюнкций одно и двуместных предикатов, а второй тип таблиц состоит из *smart*-кортежей *D*-типа (от *Disjunction*), которые моделируют дизъюнкции элементарных предикатов. При описании компонент *smart*-таблиц *D*-типа могут использоваться те же базовые унарные и бинарные предикаты, что используются в *smart*-таблицах *C*-типа.

Автору не известны работы, где в контексте решения задач удовлетворения ограничений рассматривались бы структуры, подобные предлагаемым *smart*-таблицам *D*-типа.

Представленное выше правило может быть смоделировано следующей *smart*-таблицей *D*-типа:

X	Y	Z
> 65	$\notin M$	$= a$

Таблицы *D*-типа здесь и далее записаны с помощью перевернутых квадратных скобок. В самой верхней строке записан заголовок отношения (ограничения).

Пример 2. Пусть имеется три вещественных переменных X, Y, Z , домены переменных равны интервалу целых чисел “[1,4]”, также задан следующий набор правил (семантика правил несущественна):

1. $(X \in \{2,3\}) \wedge (Y \geq X) \rightarrow (Z = 4)$;
2. $(X \in \{2,3\}) \wedge (Y < X) \rightarrow (Z = 2)$;
3. $(X \in \{2,3\}) \wedge (Y \neq X) \rightarrow (Z = 3)$.

Путём избавления от импликации в формулах получены следующие дизъюнкты:

1. $(X \notin \{2,3\}) \vee (Y < X) \vee (Z = 4)$;
2. $(X \notin \{2,3\}) \vee (Y \geq X) \vee (Z = 2)$;
3. $(X \notin \{2,3\}) \vee (Y = X) \vee (Z = 3)$.

Пусть в дополнение к уже заданным ограничениям для переменных X и Y заданы следующие унарные ограничения: $X=3, Y=3$.

Этот набор ограничений может быть представлен в виде следующей *smart*-таблицы *D*-типа.

X	Y	Z	YX
$\notin \{2,3\}$	\emptyset	$= 4$	$<$
$\notin \{2,3\}$	\emptyset	$= 2$	\geq
$\notin \{2,3\}$	\emptyset	$= 3$	$=$
$= 3$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
\emptyset	$= 3$	\emptyset	\emptyset

Символ « \emptyset » обозначает компоненту, не содержащую ни одного значения. Каждая строка данной таблицы соответствует некоторому дизъюнкту.

Отличительной особенностью предлагаемых *smart*-таблиц *D*-типа по сравнению с обычными таблицами и *compressed*-таблицами является наличие составных атрибутов в заголовке матрицы (схеме отношения). Значениями компонент составных атрибутов могут быть отношения из предопределённого множества. В приведённой в качестве примера таблице имеется составной атрибут YX , в качестве компонент могут выступать все возможные отношения сравнения на паре атрибутов Y и X , а именно: $\{>, <, =, \neq, \leq, \geq\}$.

При организации рассуждений на данных структурах ключевым понятием является понятие кванта информации. Квант – это совокупность значений переменной, рассматриваемая как единое целое: все значения одного кванта элиминируются из домена или компоненты одновременно. Множество квантов для некоторого домена представляет собой разбиение соответствующего домена или компоненты. Процедуру квантования можно показать на примере 2. Домен переменной YX разбивается на три кванта. Первым квантом является отношение “ $Y < X$ ”, вторым квантом – отношение “ $Y = X$ ”, третьим – отношение “ $Y > X$ ”. С помощью данной совокупности квантов может быть представлено любое из отношений $\{>, <, =, \neq, \leq, \geq\}$ для переменных (Y, X) . Для простых атрибутов X, Y, Z с дискретными областями определения в качестве квантов можно взять элементы домена, то есть значения $\{1, 2, 3, 4\}$.

Результат квантования всей представленной выше матрицы можно записать с использованием секционированных булевых векторов:

X	Y	Z	YX
1,2,3,4.	1,2,3,4.	1,2,3,4.	$<, =, >$
1 0 0 1.	0 0 0 0.	0 0 0 1.	1 0 0
1 0 0 1.	0 0 0 0.	0 1 0 0.	0 1 1
1 0 0 1.	0 0 0 0.	0 0 1 0.	0 1 0
0 0 1 0.	0 0 0 0.	0 0 0 0.	0 0 0
0 0 0 0.	0 0 1 0.	0 0 0 0.	0 0 0

Во второй строке заголовка таблицы перечислены обозначения квантов. Данная матрица показывает как производится разложение каждой компоненты на кванты. Например, четвёртая компонента второй строки 011 соответствует отношению “ \geq ”. Данный булев вектор показывает, что: “ $Y \geq X$ ” = “ $Y > X$ ” \cup “ $Y = X$ ”.

Любой метод решения задачи *CSP* содержит в себе две компоненты: компоненту, реализующую поиск, и компоненту, реализующую распространение ограничений (логический вывод на ограничениях). Как правило, в качестве компоненты, реализующей поиск, выступает один из методов поиска в глубину с возвратами. Вывод на ограничениях сводится к усечению областей определения переменных и характеризуется полиномиальной временной сложностью. Компонента, реализующая вывод, разрабатывается отдельно под каждый тип ограничений. В случае *smart*-таблиц *D*-типа, помимо редуцирования доменов переменных, в

результате вывода на ограничениях удаляются некоторые строки, столбцы, компоненты, значения компонент таблиц. Вывод на ограничениях, представленных в виде *smart*-таблиц *D*-типа, предлагается осуществлять с использованием следующих утверждений.

Утверждение 1 (У1). Если хотя бы одна строка *smart*-таблицы *D*-типа пуста (содержит все пустые компоненты), то таблица пуста (соответствующая система ограничений несовместна, задача *CSP* не имеет решения).

Утверждение 2 (У2). Если все компоненты некоторого атрибута пусты, то данный атрибут можно удалить из *smart*-таблицы *D*-типа (удаляются все компоненты, стоящие в соответствующем столбце, а пара “переменная-домен переменной” сохраняется в вектор частичного решения).

Утверждение 3 (У3). Если в *smart*-таблице *D*-типа есть строка (*smart*-кортеж), содержащая лишь одну непустую компоненту, то все кванты, не входящие в эту компоненту, удаляются из соответствующего домена.

Утверждение 4 (У4). Если строка *smart*-таблицы *D*-типа содержит хотя бы одну полную компоненту, то она удаляется (можно удалить соответствующее ограничение из системы ограничений).

Утверждение 5 (У5). Если компонента атрибута *smart*-таблицы *D*-типа содержит квант, не принадлежащий соответствующему домену, то этот квант удаляется из компоненты.

Утверждение 6 (У6). Если в *smart*-таблице *D*-типа усечён один или несколько доменов простых атрибутов, которые формируют некоторый составной атрибут, домен составного атрибута должен быть конкретизирован с учётом новых доменов простых атрибутов: из домена составного атрибута исключаются кванты, которые обращаются в пустое множество при новых доменах соответствующих простых атрибутов.

Утверждение 7 (У7). В случае конкретизации домена сложного атрибута (если таковая происходит в результате распространения ограничений) должны быть конкретизированы и домены соответствующих простых атрибутов с учётом вновь выведенного домена составного атрибута.

Поскольку две последних строки таблицы в нашем примере содержат по одной непустой компоненте каждая, то в процессе распространения ограничений, согласно **У3**, новые домены переменных *X* и *Y* становятся равными множеству {3}. Строки с номерами 4 и 5 удаляются из рассматриваемой таблицы после применения **У4**. Далее осуществляется “настройка” компонент первого столбца на новый домен переменной *X*. Согласно **У5**, из компонент первого столбца удаляются все значения, поскольку они не содержатся в новом домене. Таким образом, все компоненты первого столбца становятся пустыми, и столбец можно исключить из рассмотрения, пользуясь **У2**. По тем же причинам из рассмотрения исключается столбец *Y*. Дальнейшие вычисления связаны с особенностями обработки сложного атрибута *YX*: поскольку конкретизировались домены переменных *X* и *Y*, то согласно **У6** должна быть выполнена следующая проверка для сложного атрибута *YX*: требуется выяснить, какое из отношений-квантов {<, =, >} перестало выполняться после того, как были уточнены домены простых атрибутов. Ненарушенным оказывается только отношение-квант “*Y=X*”. Тогда домен сложного атрибута *YX* “сужается” до отношения “*Y=X*” и, пользуясь **У5**, можно исключить лишние значения (кванты) из компонент соответствующего столбца:

$$\begin{array}{cc} Z & YX \\ 1, 2, 3, 4 & = \\ \left[\begin{array}{c} = 4 \\ = 2 \\ = 3 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} \emptyset \\ = \\ = \end{array} \right]. \end{array}$$

В данной таблице вторая строка заголовка содержит описание доменов переменных посредством квантов, оставшихся на данном шаге редукции.

Далее, по **У4** исключаются из рассмотрения строки 2 и 3. Теперь первая строка содержит только одну непустую компоненту (в атрибуте Z). Тогда, согласно **У3**, новый домен атрибута Z будет равен одноэлементному множеству {4} (переменная Z равна 4). Затем, согласно **У4**, вычеркивается из матрицы первая строка. Строк в матрице более не остаётся: они все были вычеркнуты без образования пустых строк (строк, состоящих лишь из пустых компонент). Это является признаком успешного окончания процесса редукции с получением решения поставленной задачи CSP. Окончательные значения атрибутов: X=3, Y=3, Z=4. В процессе вывода конкретизировались значения всех простых атрибутов.

3 Моделирование знаний с помощью smart-таблиц нового типа

Представление качественных зависимостей в форме smart-таблиц C-типа, как правило, интуитивно более понятно, чем представление тех же самых отношений с помощью smart-таблиц D-типа. Далее на конкретных примерах показано преимущество представления ряда многоместных отношений в форме smart-таблиц D-типа.

Пример 3. Ограничение $Permutation(x_1, x_2, \dots, x_n)$, задающее множество перестановок из n элементов, где элементы принадлежат множеству $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, может быть представлено следующим образом:

$$\begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \left[\begin{array}{cccc} = a_1 & = a_1 & \dots & = a_1 \\ = a_2 & = a_2 & \dots & = a_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ = a_n & = a_n & \dots & = a_n \end{array} \right] \end{matrix}$$

Представление того же самого отношения в виде таблиц C-типа слишком громоздко и сводится к явному перечислению всех возможных перестановок.

Ограничение $Permutation(x_1, x_2, \dots, x_n)$ можно рассматривать как частный случай глобального ограничения $Alldiff(x_1, x_2, \dots, x_n)$, когда домены всех переменных равны одному и тому же множеству, и количество переменных совпадает с суммарным количеством возможных значений для этих переменных. Следует заметить, что и в общем случае ограничение $Alldiff(x_1, x_2, \dots, x_n)$ также может быть успешно смоделировано с помощью предложенных smart-таблиц D-типа.

Пример 4. Глобальное ограничение $NotAllEqual(x_1, \dots, x_m): \exists 1 \leq i, j \leq m : x_i \neq x_j$.

Данное ограничение может быть представлено с помощью smart-таблицы C-типа:

$$\begin{matrix} X_2 X_1 & X_3 X_1 & \dots & X_n X_1 \\ \left[\begin{array}{cccc} \neq & * & \dots & * \\ * & \neq & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ * & * & \dots & \neq \end{array} \right] \end{matrix}$$

Сходным образом данное ограничение представлено в работе [10]. Однако подобную формализацию ограничения $NotAllEqual(x_1, \dots, x_m)$ нельзя признать удовлетворительной, поскольку в данном случае табличное представление содержит много фиктивных компонент.

Данное ограничение можно представить в виде smart-таблицы D-типа, состоящее из единственной строки:

$$\begin{array}{cccc} X_2 X_1 & X_3 X_1 & \dots & X_n X_1 \\] \neq & \neq & \dots & \neq [. \end{array}$$

Далее приведены примеры предметных областей, где важно эффективно представлять и обрабатывать правила и логические выражения.

Пример 5. Задача кластерного анализа, где есть возможность учитывать знания о предметной области в форме пользовательских ограничений *Constrained Clustering* [17].

Пусть стоит задача разбить объекты $\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ на $k < n$ кластеров. В этом случае домены всех переменных равны множеству $\{1, \dots, k\}$. Пусть критерием кластеризации служит нахождение разбиения с минимальным диаметром, где диаметр разбиения – это максимальный диаметр для всех кластеров разбиения. Диаметр кластера – это максимальное расстояние между любыми двумя точками, принадлежащими данному кластеру.

При поиске разбиения с минимальным диаметром для каждого i и j формулируется ограничение: $(G_i = G_j) \rightarrow (D \geq d_{ij})$ [6]. Это выражение равносильно $(G_i \neq G_j) \vee (D \geq d_{ij})$, где d_{ij} – константа, показывающая расстояние между точками i и j , D – переменная, обозначающая диаметр разбиения и принимающая значения из множества $[d_{min}, d_{max}]$, причём d_{min} и d_{max} – минимальное и максимальные расстояния между парой объектов, принадлежащих множеству $\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$.

Данное ограничение может быть выражено в виде следующей *smart*-таблицы D -типа:

$$\begin{array}{cc} G_i G_j & D \\] \neq & \geq d_{ij} [. \end{array}$$

Аналогичным образом может быть формализовано ограничение, которое задаётся в случае, если критерием кластеризации служит максимизация межкластерного расстояния (*split* - критерий): $(S > d_{ij}) \rightarrow (G_i = G_j)$ [17].

Здесь переменная S обозначает минимальное расстояние между точками двух различных кластеров, входящих в одно разбиение.

Пример 6. Задачи *Constraint-Based Scheduling*, рассмотренные в [18]. Переменные, используемые для описания задач:

$X(A_i, t)$ – булевы переменные, служащие для указания выполняется (значение 1) или нет (значение 0) задача (работа, задание) A_i в текущий момент времени t ;

$start(A_i)$ и $end(A_i)$ – обозначают моменты начала и окончания работы A_i , изначальные домены переменных $start(A_i)$ и $end(A_i)$ равны соответственно $[r_i, lst_i]$ и $[eet_i, d_i]$, где lst_i and eet_i – наиболее позднее время начала и наиболее раннее время завершения задания A_i ; $[r_i, d_i]$ – временное окно, в которое должна быть выполнена работа A_i .

В различных постановках задач *Constraint-Based Scheduling* используются различные виды качественных ограничений, которые могут быть представлены в форме *smart*-таблиц D -типа.

Например, ограничение *Time-Table Constraint*, представляющее собой условия на временное окно, в которое должно быть выполнено задание A_i , записано так:

$$\begin{array}{l} [X(A_i, t) = 0] \wedge [t < eet_i] \rightarrow [start(A_i) > t]. \\ [X(A_i, t) = 0] \wedge [lst_i \leq t] \rightarrow [end(A_i) \leq t]. \end{array}$$

Оно сводится к совокупности логических импликаций и может быть легко представлено с помощью *smart*-таблиц D -типа.

Ограничение *Disjunctive Constraint*, которое предписывает, что два задания A_i и A_j не могут перекрываться по времени: $[end(A_i) \leq start(A_j)] \vee [end(A_j) \leq start(A_i)]$, также представляет собой логическое выражение, легко моделируемое с помощью *smart*-таблиц D -типа.

Заключение

При решении задач, связанных с комбинаторным поиском, требуется компактно представлять знания в памяти компьютера, а также уметь их эффективно обрабатывать. Технология *Constraint Programming* нацелена на решение задач высокой вычислительной сложности. Вне зависимости от того, используются ли для решения задач удовлетворения ограничений методы систематического обхода дерева поиска, методы локального поиска или гибридные методы, основное внимание разработчиков всегда сосредоточено на механизмах логического вывода на ограничениях (алгоритмах распространения ограничений), обладающих низкой вычислительной сложностью и обеспечивающих редукцию пространства поиска за полиномиальное время. Понятийный аппарат, применяемый в рамках парадигмы *Constraint Programming*, близок к понятийному аппарату реляционной алгебры, а методы решения задач удовлетворения ограничений можно отнести к группе алгебраических методов логического вывода.

В статье предложен новый тип табличных ограничений, а именно *smart*-таблицы *D*-типа, а также приводятся правила эквивалентных преобразований данных таблиц, которые лежат в основе процедур редукции ограничений. За счёт новой интерпретации понятия «кортеж многоместного отношения» применение *smart*-таблиц *D*-типа позволяет в некоторых случаях существенно снизить потребление памяти компьютера по сравнению с известными типами табличных ограничений. В частности, *smart*-таблицы *D*-типа хорошо подходят для моделирования продукционных правил, некоторых типов логических выражений, а также некоторых типов глобальных ограничений.

Благодарности

Настоящее исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), номера проектов 18-07-00615-а, 20-07-00708-а.

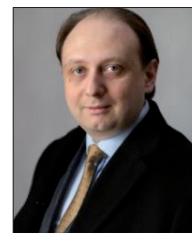
Список источников

- [1] **Кандрашина, Е.Ю.** Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е.Ю. Кандрашина, Л.В. Литвинцева, Д.А. Поспелов. Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1989. – 326 с.
- [2] **Осипов, Г.С.** Методы искусственного интеллекта / Г.С. Осипов. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
- [3] **Кузнецов, О.П.** Онтологии в современных информационных системах: состояние, проблемы, перспективы / О.П. Кузнецов, В.С. Суховеров, Л.Б. Шипилина // Датчики и системы. – 2011. – №8 (147). – С.67-77.
- [4] **Maier, D.** The Theory of Relational Databases. / D. Maier – Computer Science Press, 1983. 665 p.
- [5] **Bartak, R.** Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail / R. Bartak // Proceedings of the Week of Doctoral Students (WDS99), Part IV. – Prague: MatFyzPress, 1999. – P.555–564.
- [6] **Ruttkey, Zs.** Constraint satisfaction a survey / Zs. Ruttkey // CWI Quarterly. – 1998. – Vol. 11. – P.163-214.
- [7] **Xia, W.** Optimizing STR algorithms with tuple compression / W. Xia, R.H.C. Yap // CP 2013. LNCS, 8124. – 2013. – P.724-732.
- [8] **Perez, G.** Improving GAC-4 for table and MDD constraints / G. Perez, J.C. Regin // CP 2014. LNCS, 8656. – 2014. – P.606-621.
- [9] **Katsirelos, G.** A compression algorithm for large arity extensional constraints / G. Katsirelos, T. Walsh // CP 2007. LNCS, 4741, – 2007. – P.379-393.
- [10] **Mairy, J.** The Smart Table Constraint / J. Mairy, Y. Deville, C. Lecoutre // In: Michel, L. (eds.) Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming. CPAIOR 2015. Lecture Notes in Computer Science. – Springer. Cham, – 2015. – Vol. 9075. – P.271-287.
- [11] **Кузнецов, О.П.** Дискретная математика для инженера / О.П. Кузнецов. – СПб.: Лань, 2009. – 400 с.
- [12] **Russel, S.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd edition / S. Russel, P. Norvig. – Prentice Hall, 2010. – 1132 P.
- [13] **Regin, J.** A filtering algorithm for constraints of difference in CSPs / J. Regin // Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94). – Seattle: AAAI Press, – 1994. – P.362–367.

- [14] **Bessiere, C.** Arc consistency for general constraint networks: preliminary results / C. Bessiere, J.C. Regin // Proceedings of IJCAI, – 1997. – P.398-404.
- [15] **Jefferson, C.** Extending simple tabular reduction with short supports / C. Jefferson and P. Nightingale // Proceedings of IJCAI 2013, – 2013. – P.573-579.
- [16] **Zuenko, A.** Development of n-tuple algebra for logical analysis of databases with the use of two-place predicates / A. Zuenko, A. Fridman // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2009. – Vol. 48(2). – P.254-261.
- [17] **Dao, T.B.H.** Constrained Clustering by Constraint Programming / T.B.H. Dao, K.C. Duong, C. Vrain // Artificial Intelligence Journal, – 2017. – Vol. 244. – P.70-94.
- [18] **Baptiste, P.** Constraint-Based Scheduling: Applying Constraint Programming to Scheduling Problems / P. Baptiste, C. Le Pape, W. Nuijten. – Kluwer Academic Publishers, 2001. – 203 P.

Сведения об авторе

Зуенко Александр Анатольевич, 1983 г.р., к.т.н., ведущий научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Области научных интересов: программирование в ограничениях; моделирование слабо формализованных предметных областей. Author ID (RSCI): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru.



Поступила в редакцию 11.11.2020, после рецензирования 07.12.2020. Принята к публикации 11.12.2020.

Compact representation of constraints based on a new interpretation of the concept "tuple of a multi-place relation"

A.A. Zuenko

Institute for Informatics and Mathematical Modeling – Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS), Apatity, Russia

Abstract

The article discusses various points of view on the concept of "tuple of a multi-place relation" used in mathematics and information technology. Special attention is paid to an evolution of the concept "tuple" within Constraint Programming technology where the emergence of new interpretations for the concept "tuple" is related with attempts to design more "compact" table representation of qualitative relations comparing with typical relational tables. This "compact" representation can serve as a basis for accelerating qualitative constraint satisfaction procedures. In studied prototype-works, such varieties of table constraints as *compressed-tables* and *smart-tables* were proposed. In so doing, the concept of *compressed-* and *smart-* tuple substantially differs from traditional concept of tuple of a multi-place relation. However, the known table constraints types are not well suited for modeling and processing all types of quality relations, for example, there are inconveniences when modeling production rules. The article proposes a new type of table constraints – *smart-tables* of *D-type* and equivalent transformations rules allowing the initial constraint satisfaction problem to be effectively reduced. The application of the *smart-tables* of *D-type* allows in some cases to substantially reduce computer memory consumption comparing with application of the known types of table constraints. In particular, *smart-tables* of *D-types* are well suited for modeling production rules, some types of logical expirations and some types of global constraints.

Key words: *tuple of a multi-place relation, constraint programming technology, constraint satisfaction problem, table constraints, qualitative constraints.*

Citation: Zuenko AA. Compact representation of constraints based on a new interpretation of the concept "tuple of a multi-place relation" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 503-515. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-503-515.

Acknowledgment: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project numbers 18-07-00615-a, 20-07-00708-a.

References

- [1] **Kandrashina EYu.** Knowledge representation about time and space in intellectual systems [In Russian]. Moscow: Nauka; 1989. 326 p.
- [2] **Osipov GS.** Methods of artificial intelligence [In Russian]. Moscow: Fizmatlit; 2011. 296 p.
- [3] **Kuznetsov OP, Sukhoverov VS, Shipilina LB.** Ontologies in modern information systems: state, problems, prospects [In Russian]. *Sensors and systems*. 2011; 8 (147): 67-77.
- [4] **Maier D.** The Theory of Relational Databases. Computer Science Press; 1983. 665 p.
- [5] **Bartak R.** Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail. Proc. of the Week of Doctoral Students (WDS99), Part IV. Prague: MatFyzPress; 1999; 555–564.
- [6] **Ruttkay ZS.** Constraint satisfaction a survey. *CWI Quarterly*. 1998; 11: 163–214.
- [7] **Xia W, Yap RHC.** Optimizing STR algorithms with tuple compression. CP 2013. LNCS, 2013; 8124: 724-732.
- [8] **Perez G, Regin JC.** Improving GAC-4 for table and MDD constraints. CP 2014. LNCS, 2014; 8656: 606-621.
- [9] **Katsirelos G, Walsh T.** A compression algorithm for large arity extensional constraints. CP 2007, LNCS, 2007; 4741: 379-393.
- [10] **Mairy J.** The Smart Table Constraint. In: Michel, L. (eds.) *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming*. CPAIOR 2015. Lecture Notes in Computer Science. Springer. Cham, 2015; 9075: 271-287.
- [11] **Kuznetsov OP.** Discrete mathematics for an engineer [In Russian]. SPb.: Lan, 2009; 400 p.
- [12] **Russel S, Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Prentice Hall, 2010. 1132 p.
- [13] **Regin J.** A filtering algorithm for constraints of difference in CSPs. Proc. of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94). Seattle: AAAI Press, 1994; 362-367.
- [14] **Bessiere C, Regin JC.** Arc consistency for general constraint networks: preliminary results. Proc. of IJCAI, 1997: 398-404.
- [15] **Jefferson C, Nightingale P.** Extending simple tabular reduction with short supports. Proc. of IJCAI 2013. 2013: 573-579.
- [16] **Zuenko A, Fridman A.** Development of n-tuple algebra for logical analysis of databases with the use of two-place predicates. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2009; 48(2): 254-261.
- [17] **Dao TBH, Duong KC, Vrain C.** Constrained Clustering by Constraint Programming. *Artificial Intelligence Journal*, 2017; 244: 70-94.
- [18] **Baptiste P, Le Pape C, Nuijten W.** Constraint-Based Scheduling: Applying Constraint Programming to Scheduling Problems. Kluwer Academic Publishers, 2001. 203 p.

About the author

Alexander Anatolievich Zuenko, (b. 1983) PhD, a leading researcher of Institute for Informatics and Mathematical Modeling – Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). Research interests: constraint programming; poorly formalized subject domains modeling. Author ID (RSCI): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru.

Received November 11, 2020. Revised December 07, 2020. Accepted December 11, 2020.

Примечание редакции для авторов

Статья А.А. Зуенко обнажила нерешённую проблему внедрения в научный оборот, в тексты научных статей заимствованных иностранных терминов, дословный перевод которых не отражает содержание понятий за ними стоящих. Так, в этой статье смешение слов, заимствованных из первоисточников на иностранном языке, с русскими словами приводит к грибоедовской проблеме «французско-нижегородского языка». При низкой частоте употребления таких словосочетаний язык интуитивно отторгает и отвергает такие новообразования. Редакция выражает надежду на бережное отношение авторов статей к языку научного общения.

Мониторинг и адаптация базы проектных прецедентов при управлении инновационными проектами на основе нечёткого онтологического подхода

В.В. Борисов¹, М.В. Черновалова², С.П. Курилин¹

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

Аннотация

Анализируется использование методов рассуждения на основе прецедентов при управлении инновационными проектами. На примере электромеханических систем обосновано использование нечёткого онтологического подхода для представления базы проектных прецедентов при управлении инновационными проектами на всех этапах их жизненного цикла. Подход позволяет осуществить нечёткую грануляцию характеристик концептов онтологической модели, типизировать процесс определения релевантности между текущими проектными ситуациями и проектными прецедентами, выполнить поиск обобщённых проектных прецедентных решений, осуществлять анализ и идентификацию типовых ситуаций адаптации базы проектных прецедентов. Для расширения возможностей оценки релевантности между текущими проектными ситуациями и проектными прецедентами предложено использовать показатели нечёткого соответствия, неопределённости установления нечёткого соответствия и нечёткого несоответствия, основанные на расчёте нечёткого относительного расстояния. Рассмотрен оригинальный способ анализа и идентификации типовых ситуаций адаптации путём создания «смежных» проектных прецедентов, объединения и разделения проектных прецедентов, формирования новых и удаления неактуальных проектных прецедентов. Процесс мониторинга базы проектных прецедентов основан на совместной оценке значений предложенных показателей для проектных прецедентов и заключается в проверке условий возникновения типовых ситуаций.

Ключевые слова: управление проектами, проектный прецедент, проектная ситуация, релевантность прецедентов, нечёткие онтологии, электромеханические системы, адаптация.

Цитирование: Борисов, В.В. Мониторинг и адаптация базы проектных прецедентов при управлении инновационными проектами на основе нечёткого онтологического подхода / В.В. Борисов, М.В. Черновалова, С.П. Курилин // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №4(38). – С.516-526. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-516-526.

Введение

Эффективное управление *инновационными проектами* (ИнП) требует комплексного использования методов, моделей и технологий интеллектуального поиска информации, интеллектуального анализа данных, инженерии знаний [1-4].

В настоящее время для выработки решений в интеллектуальных системах стали широко использоваться методы рассуждений на основе прецедентов (*Case-Based Reasoning – CBR*) [5-8], базирующиеся на онтологическом подходе для формализованного представления различных *предметных областей* (ПрО) и извлечения зависимостей [9-12]. Однако указанный подход имеет ряд ограничений для задач проектного управления:

- «нестационарность» понятийно-терминологического аппарата;
- временные и ресурсные ограничения на формирование и выбор проектных прецедентных решений;

- недостаточный объём, неопределённость имеющихся данных;
- сложность представления проектных прецедентов и проектных прецедентных решений;
- сложность определения релевантности текущих проектных ситуаций (ПрС) проектным прецедентам, позволяющей единообразно учитывать различную степень их соответствия по разному составу характеристик с учётом различной значимости и степени их согласованности;
- отсутствие развитых механизмов структурно-параметрической адаптации онтологических моделей, баз проектных прецедентов (БПП) и методов формирования проектных прецедентных решений в условиях динамического изменения ПрО, задач и информационных ресурсов проектного управления.

В статье рассматривается задача мониторинга и адаптации БПП при управлении ИнП на основе нечёткого онтологического подхода, направленного на учёт указанных ограничений.

1 Нечёткий онтологический подход для представления базы проектных прецедентов

Для организации БПП с помощью онтологии могут быть предложены два альтернативных подхода. Первый предполагает формирование БПП относительно независимо от онтологической модели ПрО [12, 13], а второй заключается в формировании онтологической модели ПрО, интегрируемой с проектными прецедентами [8].

Выбор того или иного подхода зависит от сложности проектных задач. При этом, чем сложнее онтология и чем больше классов и связей между ними она содержит, тем сложнее определить условия для сопоставления текущих ПрС и проектных прецедентов, а также сформировать их базу и осуществить выбор проектных прецедентных решений.

В этом случае целесообразным является построение онтологической модели ПрО, тесно интегрируемой с проектными прецедентами. Использование же нечёткого представления характеристик концептов онтологической модели позволяет осуществить их нечёткую грануляцию, типизируя и существенно упрощая процесс определения релевантности текущих ПрС проектным прецедентам и поиска обобщённых проектных прецедентных решений.

Управление ИнП на всех этапах жизненного цикла проектирования, производства и эксплуатации рассматривается на примере электромеханической системы. На первом этапе осуществляется проектирование идеализированной электромеханической системы, но при её изготовлении этот «идеал» воплощается с некоторыми отклонениями, связанными с конкретикой проектировочных методик, комплектующих изделий, материалов и технологии производства. Кроме того, в ходе эксплуатации происходят физический износ и старение системы, изменяются её эксплуатационные характеристики.

На рисунке 1 представлен фрагмент сформированной онтологии, содержащей необходимую информацию для управления проектированием, производством и эксплуатацией *асинхронных электродвигателей* (АЭД). Основными концептами этой онтологии являются: «Асинхронный электродвигатель», «Типоразмер», «Жизненный цикл АЭД», «Приводимый механизм», «Документация», «Показатели».

Для организации представления проектных прецедентов в разработанной онтологической модели предлагается использовать концепт (класс) *Precedent*, не имеющий потомков, который располагается на верхнем уровне иерархии онтологии, т.е. является непосредственным потомком концепта *Thing*. Он предназначен для хранения информации о проектных прецедентах и соответствующих проектных прецедентных решениях по разработке и эксплуатации электромеханических систем.

Перечень основных характеристик данного концепта представлен в таблице 1.

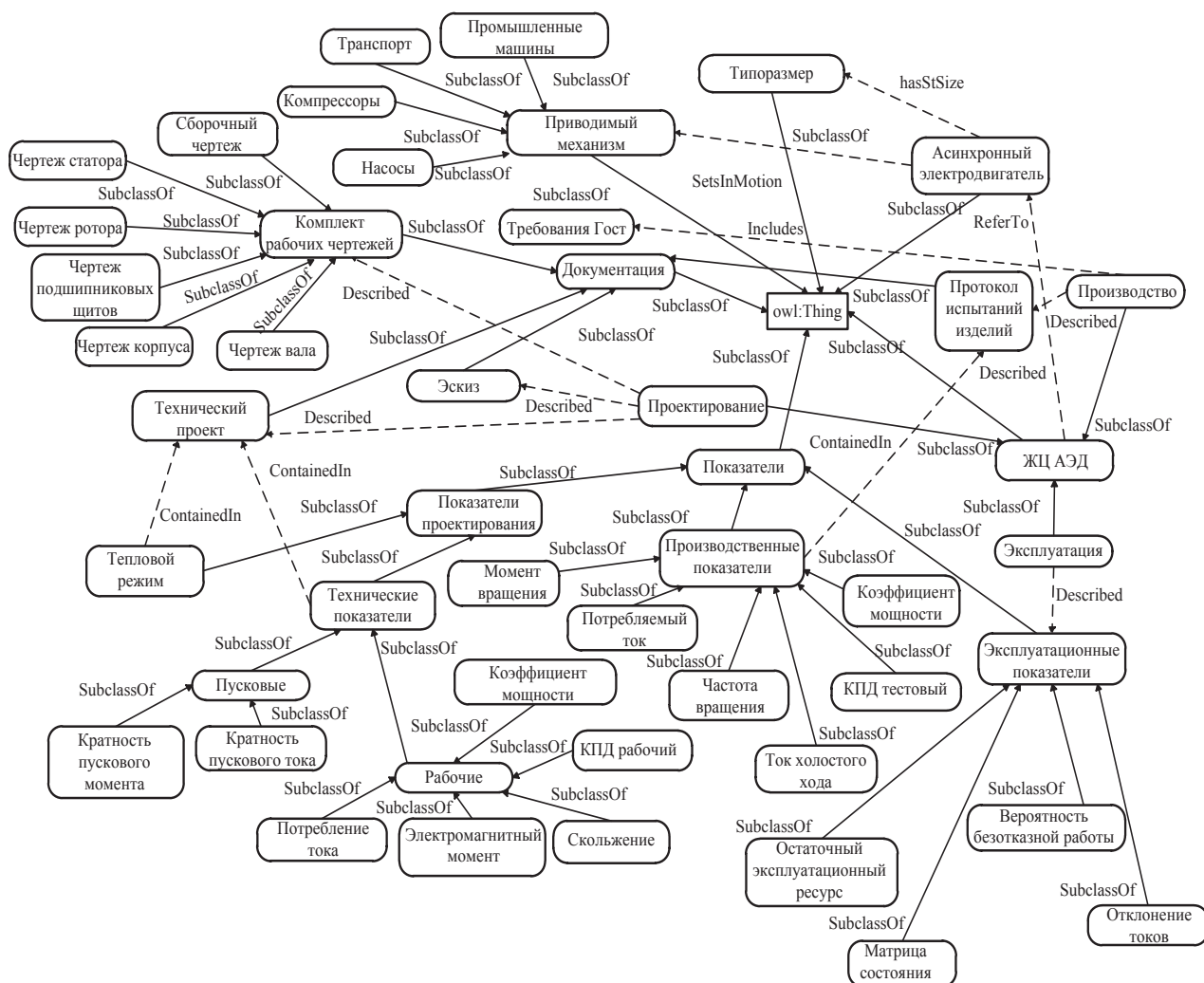


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии предметной области по проектированию, производству и эксплуатации асинхронных электродвигателей

Как видно из таблицы 1, структура проектного прецедента состоит из характеристик (показателей) ИнП, оцениваемых при формировании конкретных решений по его управлению в условиях возникновения тех или иных ситуаций. Каждая из указанных характеристик имеет свой диапазон изменения, покрываемый терм-множествами соответствующих лингвистических шкал.

2 Оценка релевантности текущих проектных ситуаций проектным прецедентам

На практике выбор прецедентов из базы чаще всего осуществляется с использованием различных мер близости в заданном «пространстве» характеристик, как, например, в работах [14, 15]. При этом наиболее «близкий» прецедент по отношению к текущей ситуации чаще всего определяется с помощью метода ближайших соседей или его модификаций [16, 17]. Однако на практике наиболее «близкие» прецеденты не всегда являются релевантными. Так, в базе могут иметься другие проектные прецеденты, характеризующиеся большим семантическим соответствием с текущей ПрС.

Для решения этой проблемы при организации БПП в виде онтологии для определения степени сходства текущей ситуации и прецедентов в работах [11, 12] предлагается дополни-

тельно использовать алгоритм, позволяющий определить соответствия для прецедентов из базы и текущей ситуации.

Таблица 1 – Основные характеристики класса *Precedent* для ИнП

№	Характеристика		Описание	
1	<i>PlaceInOntology</i>	<i>Place1</i>	Характеристики, отражающие степень соответствия проектного прецедента конкретному концепту онтологии ПрО	
		<i>Place2</i>		
		<i>Place3</i>		
2	<i>ResearchProductionPotential</i>		Уровень научного потенциала, которым обладает промышленное предприятие для выполнения конкретного ИнП	
3	<i>TotalCosts</i>	<i>ProjectCosts</i>	Общие затраты на выполнение ИнП	
		<i>StageCosts</i>	Общие затраты на выполнение конкретного этапа	
		<i>WorkCosts</i>	Общие затраты на выполнение отдельной работы	
4	<i>OwnFunds</i>		Объём собственных средств, выделенных на реализацию ИнП	
5	<i>TeamSize</i>		Количество людей в составе команды ИнП	
6	<i>ShareOfScientificPersonnel</i>		Доля научных кадров в общей численности команды	
7	<i>InfluenceOfUncertainties</i>	<i>External</i>	Степень влияния на ИнП внешних факторов неопределённости	
		<i>Internal</i>	Степень влияния на ИнП внутренних факторов неопределённости	
8	<i>Deviation</i>	<i>Time</i>	<i>Project</i>	Отклонение длительности выполнения ИнП
			<i>Stage</i>	Отклонение длительности выполнения конкретного этапа ИнП
			<i>Work</i>	Отклонение длительности выполнения отдельной работы ИнП
	<i>Resources</i>	<i>People</i>	Отклонение в количестве людей, задействованных при выполнении ИнП	
		<i>Cash</i>	Отклонение в объёме затраченных денежных средств на выполнение ИнП	
		<i>Materials</i>	Отклонение в объёме затраченных материальных средств на выполнение ИнП	
9	<i>Investments</i>		Объём привлечённых инвестиций для реализации ИнП	
10	<i>PlanAdjustmentCost</i>		Объём затрат, связанных с внесением корректировок	
11	<i>Solution</i>		Решения, которые были приняты при управлении ИнП	

Другое перспективное направление поиска релевантных прецедентов представлено в работах [18, 19]. Оно основано на сопоставлении текущей ситуации и прецедентов посредством оценки их связи с концептами онтологии на основе анализа степени их семантической близости, выраженной с помощью вектора весовых коэффициентов, количество компонентов которого соответствует числу всех связанных терминальных концептов. Задача выбора прецедентов, релевантных текущей ситуации, сводится к задаче классификации, для решения которой используется метод на основе формирования нечёткой продукционной модели и соответствующего ей алгоритма нечёткого логического вывода.

Применение рассмотренных подходов для выбора релевантных проектных прецедентов ограничено описанными выше особенностями задач управления ИнП.

Использование нечёткого представления характеристик концептов онтологической модели позволяет осуществить их нечёткую грануляцию, типизировать процесс определения релевантности между текущими ПрС проектным прецедентам, поиск обобщённых проектных прецедентных решений, а также осуществлять анализ и идентификацию типовых ситуаций адаптации БПП.

Использование для этих целей показателей сопоставления характеристик концептов на основе *относительного расстояния между нечёткими множествами* [20] обеспечивает инвариантность к различному масштабу проектных решений, в том числе вследствие того, что реальные диапазоны изменения характеристик приводятся к универсальным шкалам.

Основные обозначения:

- $Q_l = \{\tilde{q}_n^{(l)} \mid n=1, \dots, N\}$ – l -я текущая ПрС ($l=1, \dots, L$), представленная нечёткими значениями $\tilde{q}_n^{(l)}$ её характеристик;
- $P_k = \{\tilde{p}_n^{(k)} \mid n=1, \dots, N\}$ – k -я текущая ПрС ($k=1, \dots, K$), представленная нечёткими значениями $\tilde{p}_n^{(k)}$ её характеристик; N – число сопоставляемых характеристик.

Пусть заданы следующие показатели для сопоставления характеристик текущей ПрС и проектного прецедента.

- Показатель нечёткого соответствия между $\tilde{q}_n^{(l)}$ и $\tilde{p}_n^{(k)}$

$$s_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \sqrt{\sum_{m=1}^M (\mu_{\tilde{q}_n^{(l)}}(x_m^{(n)}) - \mu_{\tilde{p}_n^{(k)}}(x_m^{(n)}))^2}, \quad x_m^{(n)} \in X_n,$$

где $\mu_{\tilde{q}_n^{(l)}}(x_m^{(n)})$, $\mu_{\tilde{p}_n^{(k)}}(x_m^{(n)})$ – функции принадлежности нечётких множеств $\tilde{q}_n^{(l)}$ и $\tilde{p}_n^{(k)}$, соответственно; X_n – область значений n -й характеристики, приведённая к диапазону $[0, 1]$.

Примечание. Для случая непрерывных нечётких множеств $\tilde{q}_n^{(l)}$ и $\tilde{p}_n^{(k)}$

$$s_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\int_{\text{Supp}(\tilde{q}_n^{(l)} \cup \tilde{p}_n^{(k)})} dx^{(n)}}} \sqrt{\int_{\text{Supp}(\tilde{q}_n^{(l)} \cup \tilde{p}_n^{(k)})} (\mu_{\tilde{q}_n^{(l)}}(x^{(n)}) - \mu_{\tilde{p}_n^{(k)}}(x^{(n)}))^2 dx^{(n)}},$$

- Показатель неопределённости установления нечёткого соответствия между $\tilde{q}_n^{(l)}$ и $\tilde{p}_n^{(k)}$

$$s_{0,5}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)}) = 1 - \frac{2}{\sqrt{M}} \sqrt{\sum_{m=1}^M (\mu_{\tilde{q}_n^{(l)}}(x_m^{(n)}) - 0,5)^2},$$

- Показатель нечёткого несоответствия между $\tilde{q}_n^{(l)}$ и $\tilde{p}_n^{(k)}$

$$s_{\bar{0}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)}) = 1 - \rho_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)}).$$

Использование этих показателей расширяет возможности по формированию и использованию гибких правил определения релевантности между текущими ПрС и проектными прецедентами, причём не только по их соответствию друг другу, но и по неопределённости установления соответствия, и по не соответствию, а также при комбинировании этих оценок:

$$S_{\bar{1}}(Q_l, P_k) = \text{Agg}_{\bar{1}}(\{s_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)} \mid n=1, \dots, N)\}),$$

$$S_{0,5}(Q_l, P_k) = \text{Agg}_{0,5}(\{s_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)} \mid n=1, \dots, N)\}),$$

$$S_{\bar{0}}(Q_l, P_k) = \text{Agg}_{\bar{0}}(\{s_{\bar{1}}(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)} \mid n=1, \dots, N)\}),$$

где $S_{\bar{1}}(Q_l, P_k)$, $S_{0,5}(Q_l, P_k)$, $S_{\bar{0}}(Q_l, P_k)$ – оценки между Q_l и P_k , обобщённые с использованием соответствующих им операций агрегирования $\text{Agg}_{\bar{1}}$, $\text{Agg}_{0,5}$, $\text{Agg}_{\bar{0}}$.

В качестве операций агрегирования могут быть использованы так называемые нечёткие квантификаторы [21], которые задают промежуточные стратегии сопоставления между текущими ПрС и проектными прецедентами, например:

- по соответствию большинства характеристик;
- по несоответствию хотя бы в одной характеристике;
- по неопределённости установления соответствия в половине из всех характеристик.

Применение предлагаемых показателей также даёт возможность определять и оценивать критериальные уровни того, в какой степени достигнуто соответствие по различным совокупностям сопоставляемых характеристик.

Например, наиболее релевантным текущей ПрС Q_l может являться проектный прецедент P_k^* , для которого, например, выполняется следующее минимаксное правило:

$$P_k^* : \min_{k=1, \dots, K} \left(\max_{n=1, \dots, N} (d_1(\tilde{q}_n^{(l)}, \tilde{p}_n^{(k)})) \right).$$

Помимо определения релевантности между текущими ПрС и проектными прецедентами использование предлагаемых показателей позволяет устанавливать гибкие правила идентификации типовых ситуаций адаптации базы проектных прецедентов.

3 Способ анализа и идентификации ситуаций адаптации в процессе мониторинга базы проектных прецедентов

Управление ИнП предполагает постоянное накопление большого объёма проектной информации, часть из которой неизбежно устаревает или становится противоречивой. В этой связи важным является постоянная актуализация БПП, основанная на анализе и идентификации следующих *типовых ситуаций её адаптации*:

- образования «смежных» проектных прецедентов;
- объединения проектных прецедентов;
- разделения проектных прецедентов;
- формирования новых проектных прецедентов;
- удаления неактуальных проектных прецедентов.

Предлагаемый способ анализа и идентификации этих ситуаций заключается в проверке условий возникновения этих ситуаций и основывается на совместной оценке *степени: соответствия, неопределённости установления соответствия, несоответствия* между проектными прецедентами из БПП.

Для идентификации перечисленных типовых ситуаций адаптации БПП необходимо осуществить проверку описанных ниже условий, используя критериальные значения показателей $S_1(Q_l, P_k)$, $S_{0,5}(Q_l, P_k)$, $S_0(Q_l, P_k)$. При этом заранее определяется правило, относительно которого оценивается релевантность сопоставляемых текущих ПрС и проектных прецедентов.

Идентификация типовой ситуации *обнаружения «смежного» проектного прецедента* между существующими прецедентами (P_v и P_k) заключается в обнаружении достаточно большого количества текущих ПрС Q_l , не релевантных (на основе сформированного правила) P_v и P_k и удовлетворяющих следующему условию:

$$\begin{aligned} & (\chi < S_1(Q_l, P_v) < \chi') \text{ AND } (\chi < S_{0,5}(Q_l, P_v) < \chi') \text{ AND } (\chi < S_0(Q_l, P_v) < \chi') \text{ AND} \\ & \text{AND } (\gamma < S_1(Q_l, P_k) < \gamma') \text{ AND } (\gamma < S_{0,5}(Q_l, P_k) < \gamma') \text{ AND } (\gamma < S_0(Q_l, P_k) < \gamma') \text{ AND} \\ & \text{AND } (\alpha < S_1(Q_l, P_z) < \beta) \text{ AND } (\alpha < S_{0,5}(Q_l, P_z) < \beta) \text{ AND } (\alpha < S_0(Q_l, P_z) < \beta); \\ & \text{при } (\chi' < \gamma) \text{ XOR } (\chi > \gamma'); (\chi' \leq a, \beta \leq \gamma) \text{ XOR } (\gamma' \leq a, \beta \leq \chi), \end{aligned}$$

где $\chi, \chi' \in [0, 1]$ – нижнее и верхнее пороговые значения $S_1(Q_l, P_v)$, $S_{0,5}(Q_l, P_v)$, $S_0(Q_l, P_v)$ (например, 0,4 и 0,7, соответственно); $\gamma, \gamma' \in [0, 1]$ – пороговые значения $S_1(Q_l, P_k)$, $S_{0,5}(Q_l, P_k)$, $S_0(Q_l, P_k)$ (например, 0,4 и 0,7, соответственно), $\alpha, \beta \in [0, 1]$ – нижнее и верхнее

граничные значения «области смежности» между прецедентами P_v и P_k (например, 0,3 и 0,8, соответственно), P_z – «смежный» проектный прецедент.

Идентификация типовой ситуации *объединения проектных прецедентов* P_v и P_k заключается в обнаружении достаточно большого числа текущих ПрС Q_l , которые бы соответствовали как P_v , так и P_k , а также удовлетворяли следующему условию:

$$\begin{aligned} & (\chi < S_1(Q_l, P_v) < \chi') \text{AND} (\chi < S_{0,5}(Q_l, P_v) < \chi') \text{AND} (\chi < S_0(Q_l, P_v) < \chi') \text{AND} \\ & \text{AND} (\gamma < S_1(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} (\gamma < S_{0,5}(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} (\gamma < S_0(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} \\ & \text{AND} (\alpha < S_1(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_{0,5}(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_0(Q_l, P_z) < \beta); \\ & \text{при } (\chi \leq a \leq \gamma) \text{XOR } (\gamma \leq a \leq \chi); (\chi' \leq \beta \leq \gamma') \text{XOR } (\gamma' \leq \beta \leq \chi'). \end{aligned}$$

Где P_z – проектный прецедент, получаемый при объединении прецедентов P_v и P_k .

Идентификация типовой ситуации *разделения проектного прецедента* P_k предполагает выделение отдельного прецедента, соответствующего компактному группированию достаточно большого числа обнаруженных текущих ПрС Q_l в соответствии со следующим условием:

$$\begin{aligned} & (\gamma < S_1(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} (\gamma < S_{0,5}(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} (\gamma < S_0(Q_l, P_k) < \gamma') \text{AND} \\ & \text{AND} \left(\left((\alpha < S_1(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_{0,5}(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_0(Q_l, P_z) < \beta) \right) \text{XOR} \right. \\ & \left. \text{XOR} \left((\alpha' < S_1(Q_l, P_z) < \beta') \text{AND} (\alpha' < S_{0,5}(Q_l, P_z) < \beta') \text{AND} (\alpha' < S_0(Q_l, P_z) < \beta') \right) \right); \\ & \text{при } \chi \leq \alpha, \beta, \alpha', \beta' \leq \chi'; (\beta < \alpha') \text{XOR } (\beta' < \alpha). \end{aligned}$$

Где P_z – проектный прецедент, формируемый при разделении P_k ; α, β – нижнее и верхнее граничные значения 1-й обособленной области прецедента P_k ; α', β' – нижнее и верхнее граничные значения 2-й обособленной области прецедента P_k .

Идентификация типовой ситуации *формирования нового проектного прецедента* P_z определяется обнаружением достаточно большого количества текущих ПрС Q_l , для которых выполняется следующее условие:

$$\begin{aligned} & (\alpha < S_1(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_{0,5}(Q_l, P_z) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_0(Q_l, P_z) < \beta), \\ & (\beta < \chi) \text{XOR } (\chi' < \alpha); (\beta < \gamma) \text{XOR } (\gamma' < \alpha). \end{aligned}$$

Где P_z – новый проектный прецедент, α, β – нижнее и верхнее граничные значения области нового прецедента.

Идентификация типовой ситуации *удаления неактуального проектного прецедента* P_k определяется тем, что в течение достаточно продолжительного времени для него выполняется следующее условие:

$$P_k : (\alpha < S_1(Q_l, P_k) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_{0,5}(Q_l, P_k) < \beta) \text{AND} (\alpha < S_0(Q_l, P_k) < \beta) = \emptyset.$$

В ходе мониторинга БПП осуществляется анализ и идентификация типовых ситуаций, принимаются решения о целесообразности изменения БПП, и осуществляется её адаптация.

Использование предлагаемого способа позволяет расширить адаптивные возможности БПП в условиях динамического изменения ПрО, задач и информационных ресурсов проектного управления и повысить эффективность управления ИнП в целом.

Заключение

Рассмотрена онтология, содержащая информацию для управления проектированием, производством и эксплуатацией АСД. Обосновано использование нечёткого онтологического подхода для представления БПП при управлении ИнП на всех этапах жизненного цикла на примере электромеханических систем.

Использование нечёткого онтологического подхода позволяет осуществить нечёткую грануляцию характеристик концептов онтологической модели, типизировать процесс определения релевантности текущих ПрС проектным прецедентам и поиска обобщённых проектных прецедентных решений, осуществлять анализ и идентификацию типовых ситуаций адаптации базы проектных прецедентов.

Предложены показатели нечёткого соответствия, неопределённости установления нечёткого соответствия, нечёткого несоответствия для сопоставления характеристик текущих ПрС и проектных прецедентов. Использование этих показателей расширяет возможности по формированию и использованию гибких правил определения релевантности между текущими ПрС и проектными прецедентами.

Разработан оригинальный метод анализа и идентификации типовых ситуаций адаптации в процессе мониторинга БПП. Метод состоит в проверке сформулированных условий возникновения этих ситуаций на основе оценки степени соответствия между проектными прецедентами из БПП.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FSWF-2020-0019, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00283.

Список источников

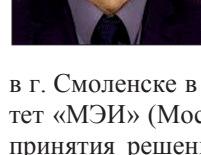
- [1] *Гаврилова, Т.А.* Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 324 с.
- [2] *Никулина, Н.О.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при анализе рисков инновационного проекта / Н.О. Никулина, А.И. Малахова, И.Ф. Иванова // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9. – №3 (33). – С.382-397. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-3-382-397
- [3] *Дли, М.И.* Модель оценки траекторий для управления проектами в сфере наукоемкой промышленной продукции / М.И. Дли, О.В. Стоянова, А.Ю. Белозерский // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10. – № 6 (60). – С.105-117.
- [4] *Антонов, В.В.* Поддержка принятия решений при управлении программными проектами на основе нечёткой онтологии / В.В. Антонов, О.В. Бармина, Н.О. Никулина // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10. № 1 (35). – С.121-140. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-121-140
- [5] *Spalazzi, L.* A Survey on Case-Based Planning / L. Spalazzi // Artificial Intelligence Review – 2001. – Vol. 16. – P. 3-36. – DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1602.
- [6] *Tan, R.-P.* Emergency decision-making method based on case-based reasoning in heterogeneous information environment / R.-P. Tan, W.-D. Zhang, S.-Q. Chen, L.-H. Yang // Control and Decision. – 2020. – Vol. 35. – No.8. – P.1966-1976. – DOI: 10.1177/0954406219854901.
- [7] *Li, S.* An extended case-based reasoning method and corresponding product design process / S. Li, Y. Li, W. Li, C. Chen // Journal of Mechanical Engineering Science. – 2020. – Vol. 233. – Iss. 19-20. – P.6673-6688. – DOI: 10.1109/INFOCOMAN.2016.7784214.
- [8] *Aljuboori, A.* Enhancing case-based reasoning retrieval using classification based on associations / A. Aljuboori // Proceedings of the 6th International Conference on Information Communication and Management (ICICM). Hatfield: 2016, IEEE. – P.52-56. - DOI: 10.1109/INFOCOMAN.2016.7784214.
- [9] *Авдеенко, Т.В.* Система поддержки принятия решений в it-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии / Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С.85-99. – DOI: 10.24143/2072-9502-2017-3-85-99.

- [10] **Chen, D.-Y.** Semantic Mapping Methods Between Expert View and Ontology View / D.-Y. Chen, H. Zhao, X. Zhang // Journal of Software. – 2020. – Vol.31. – No.9. – P.2855-2882. – DOI: 10.13328/j.cnki.jos.005820.
- [11] **Олейник, П.П.** Применение и реализация онтологий при разработке приложений баз данных / П.П. Олейник, С.Э. Грегер // Прикладная информатика. – 2016. – Т. 11. – № 3 (63). – С.76-102.
- [12] **Варшавский, П.Р.** Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин // Int. J. «Information Models and Analyses». – 2013. – Vol. 2. – No. 4 – С.385-392.
- [13] **Варшавский, П.Р.** Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин, А.К. Мьо, З.Л. Кхайнг // Программные продукты и системы. – 2015. – № 2 (110). – С.26-31. – DOI: 10.15827/0236-235X.110.026-031.
- [14] **Усцелемов, В.Н.** Совершенствование подсистемы информационной безопасности на основе интеллектуальных технологий / В.Н. Усцелемов // Прикладная информатика. – 2016. – Т. 11. – № 3 (63). – С.31-38.
- [15] **Fei, L.** A novel retrieval strategy for case-based reasoning based on attitudinal Choquet integral / L. Fei, Y. Feng // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2020. – Vol. 94. – 103791. – DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103791.
- [16] **Варшавский, П.Р.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 2. – С.45-57.
- [17] **Gerhana, Y.A.** The implementation of K-nearest neighbor algorithm in case-based reasoning model for forming automatic answer identity and searching answer similarity of algorithm case / Y.A. Gerhana, A.R. Atmadja, W.B. Zulfikar, N. Ashanti // 5th Int. Conf. on Cyber and IT Service Management (CITSM 2017). Denpasar. Indonesia: 2017, IEEE. – 8089233. – DOI: 10.1109/CITSM.2017.8089233
- [18] **Авдеенко, Т.В.** Метод определения релевантности прецедентов на основе нечётких лингвистических правил / Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Научный вестник НГТУ. – 2016. – Т. 62. – № 1. – С.17-34. – DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-17-34.
- [19] **Xiong, N.** Fuzzy rule-based similarity model enables learning from small case bases / N. Xiong // Applied Soft Computing. – 2013. – No.13. – P.2057–2064. – DOI: 10.1016/j.asoc.2012.11.009
- [20] **Борисов, В.В.** Основы теории нечётких множеств. Серия «Основы нечёткой математики». Книга 1. Учебное пособие для вузов / В.В. Борисов, А.С. Федулов, М.М. Зернов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014.
- [21] **Dubois, D.** A Review of Fuzzy Set Aggregation Connectives / D. Dubois, H. Prade // Information Sciences. – 1986. – No. 39. – P. 105–210.

Сведения об авторах



Борисов Вадим Владимирович, 1962 г. рождения. Окончил филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске в 1986 г., д.т.н. (1996). Профессор кафедры вычислительной техники филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске. В списке научных трудов более 350 работ. ORCID: 0000-0001-7357-9365; Author ID (RSCI): 87472; Author ID (Scopus): 56706944500; Researcher ID (WoS): P-1748-2016. vbor67@mail.ru.



Черновалова Маргарита Витальевна, 1992 г. рождения. Окончила филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске в 2015 г. Аспирант ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва). В списке научных трудов более 40 работ в области систем поддержки принятия решений и математических методов теории искусственного интеллекта. ORCID: 0000-0002-5160-1872; Author ID (RSCI): 843865; Author ID (Scopus): 57203397477. Researcher ID (WoS): ABF-1106-2020. 0208margarita@bk.ru.



Курилин Сергей Павлович, 1951 г. рождения. Окончил Московский ордена Ленина Энергетический институт в 1974 г., д.т.н. (2005). Профессор кафедры электромеханических систем филиала ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске. В списке научных трудов около 150 работ. ORCID: 0000-0001-7843-275X; Author ID (RSCI): 654474; Author ID (Scopus): 6508233664. sergkurilin@gmail.com.

Поступила в редакцию 18.11.2020, после рецензирования 14.12.2020. Принята к публикации 16.12.2020.

Monitoring and adaptation of the base of design precedents in the management of innovative projects based on a fuzzy ontological approach

V.V. Borisov¹, M.V. Chernovalova², S.P. Kurilin¹

¹ Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, Russia

² National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

Abstract

The article analyzes the use of methods of reasoning based on precedents in the management of innovative projects. On the example of electromechanical systems, the use of a fuzzy ontological approach is justified to represent the base of design precedents in the management of innovative projects at all stages of their life cycle. The approach allows for fuzzy granulation of the characteristics of the concepts of an ontological model, typify the process of determining the relevance between current design situations and design precedents solutions, analyzing and identifying typical adaptation options for the design use case base. To expand the possibilities of assessing the relevance between the current design situations and design precedents, it is proposed to use indices of fuzzy compliance, uncertainty in establishing fuzzy compliance and fuzzy inconsistency, based on the calculation of fuzzy relative distance. An original way of analyzing and identifying typical options for adapting design precedents, combining and removing irrelevant design precedents is considered. The process of monitoring the base of design precedents is based on a joint assessment of the values of the proposed indicators for design precedents and consists in checking the conditions for the occurrence of typical situations.

Key words: case-based reasoning, project precedent, relevance of design precedents, fuzzy ontological approach, electromechanical systems, situations of adaptation.

Citation: Borisov VV, Chernovalova MV, Kurilin SP. Monitoring and adaptation of the base of design precedents in the management of innovative projects based on a fuzzy ontological approach [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 516-526. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-516-526.

Acknowledgment: The reported study was funded under as a part of state assignment No. FSWF-2020-0019, as well as at the expense of RFBR , project No. 20-01-00283.

List of figures and tables

Figure 1 - A fragment of domain ontology for the design, production and operation of asynchronous electric motors

Table 1 - Basic properties of the *Precedent* class

References

- [1] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI.** Knowledge engineering. Models and methods [In Russian]. Saint Petersburg: Lan'; 2016. 324 p.
- [2] **Nikulina NO, Malakhova AI, Ivanova IF.** Intelligent decision support in the analysis of risks of an innovative project [In Russian]. *Ontology of designing*, 2019; 9 (3): 382-397. DOI: 10.18287 / 2223-9537-2019-9-3-382-397.
- [3] **Dli MI, Stojanova OV, Belozerskij AJu.** The trajectory estimation model for project management in creation and organization of high-technology industrial products production [In Russian]. *Journal of Applied Informatics*, 2015; 10 (6): 105–117.
- [4] **Antonov VV, Barmina OV, Nikulina NO.** Decision making support in software project management based on fuzzy ontology [In Russian]. *Ontology of designing*, 2020; 10 (1): 121-140. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-121-140.
- [5] **Spalazzi L.** A Survey on Case-Based Planning. *Artificial Intelligence Review*, 2001; 16: 3-36.
- [6] **Tan R-P, Zhang W-D, Chen S-Q, Yang L-H.** Emergency decision-making method based on case-based reasoning in heterogeneous information environment. *Control and Decision*, 2020; 35 (8): 1966-1976. DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1602

- [7] **Li S, Li Y, Li W, Chen C.** An extended case-based reasoning method and corresponding product design process. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 2020; 233 (19-20): 6673-6688. DOI: 10.1177/0954406219854901.
 - [8] **Aljuboori A.** Enhancing case-based reasoning retrieval using classification based on associations. Proceedings of the 6th International Conference on Information Communication and Management (ICICM), Hatfield: IEEE; 2016. 7784214: 52-56. DOI: 10.1109/INFOCOMAN.2016.7784214.
 - [9] **Avdeenko TV, Makarova ES.** Decision support system in IT departments based on the integration of the precedent approach and ontology [In Russian]. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2017; 3: 85-99. DOI: 10.24143/2072-9502-2017-3-85-99.
 - [10] **Chen D-Y, Zhao H, Zhang X.** Semantic Mapping Methods Between Expert View and Ontology View. *Journal of Software*, 2020; 31 (9): 2855-2882. DOI: 10.13328/j.cnki.jos.005820.
 - [11] **Oleynik PP, Greger SE.** Ontological approach in the development of database applications [In Russian]. *Journal of Applied Informatics*, 2016; 11(3): 76-102.
 - [12] **Varshavskiy PR, Alekhin RV.** A method for finding solutions in intelligent decision support systems based on precedents [In Russian]. *International Journal «Information Models and Analyses»*, 2013; 2 (4): 385-392.
 - [13] **Varshavskiy PR, Alekhin RV, M'o AK, Kkhaing ZL.** Implementation of a precedent module for intelligent systems [In Russian]. *Software & Systems*, 2015; 2(110): 26-31. DOI: 10.15827/0236-235X.110.026-031.
 - [14] **Ustselemov VN.** Improvement of information security subsystems based on intelligent technologies [In Russian]. *Journal of Applied Informatics*, 2016; 11(3): 31-38.
 - [15] **Fei L, Feng Y.** A novel retrieval strategy for case-based reasoning based on attitudinal Choquet integral. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020; 94: 103791. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103791.
 - [16] **Varshavskiy PR, Ereemeev AP.** Modeling Case-based reasoning in intelligent decision support systems [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making*, 2009; 2: 45-57.
 - [17] **Gerhana YA, Atmadja AR, Zulfikar WB, Ashanti N.** The implementation of K-nearest neighbor algorithm in case-based reasoning model for forming automatic answer identity and searching answer similarity of algorithm case. 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM 2017), Denpasar: IEEE; 2017. 8089233. DOI: 10.1109/CITSM.2017.8089233.
 - [18] **Avdeenko TV, Makarova ES.** Method for determining the relevance of use cases based on fuzzy linguistic rules [In Russian]. *Scientific Bulletin of NSTU*, 2016; 62 (1):17-34. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-17-34.
 - [19] **Xiong N.** Fuzzy rule-based similarity model enables learning from small case bases. *Applied Soft Computing*, 2013; 13: 2057-2064. DOI: 10.1016/j.asoc.2012.11.009.
 - [20] **Borisov VV, Fedulov AS, Zernov MM.** Fundamentals of the theory of fuzzy sets. Series "Fundamentals of Fuzzy Mathematics". Book 1. Textbook for universities [In Russian]. Moscow: Gorjachaja linija–Telekom; 2014.
 - [21] **Dubois D., Prade H.** A Review of Fuzzy Set Aggregation Connectives. *Information Sciences*, 1986; 39: 105–210.
-

About the authors

Vadim Vladimirovich Borisov (b. 1962) graduated from the Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» in Smolensk in 1986, D. Sc. Eng. (1996). Professor of the Department of Computer Science of the Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» in Smolensk. The list of scientific works includes more than 350 works. ORCID: 0000-0001-7357-9365; Author ID (RSCI): 87472; Author ID (Scopus): 56706944500; Researcher ID (WoS): P-1748-2016. vb67@mail.ru.

Margarita Vitalievna Chernovalova (b. 1992) graduated from the Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» in Smolensk in 2015. Postgraduate student of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute». The list of scientific works includes more than 40 works in the field of decision support systems and mathematical methods of the theory of artificial intelligence. ORCID: 0000-0002-5160-1872; Author ID (RSCI): 843865; Author ID (Scopus): 57203397477. Researcher ID (WoS): ABF-1106-2020. 0208margarita@bk.ru.

Sergey Pavlovich Kurilin (b. 1951) graduated from the Moscow Order of Lenin Power Engineering Institute in 1974, D. Sc. Eng. (2005). Professor of the Department of Electromechanical Systems of the Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» in Smolensk. The list of scientific papers contains about 150 works. ORCID: 0000-0001-7843-275X; Author ID (RSCI): 654474; Author ID (Scopus): 6508233664. sergkurilin@gmail.com.

Received November 18, 2020. Revised December 14, 2020. Accepted December 18, 2020.

Формирование параметров модели управления проектом на основе линеаризации функциональных зависимостей

В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Д.Р. Ахметова, Г.Р. Сафина

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Аннотация

В настоящее время качество информационной поддержки управления становится критическим фактором реализации положений доктрины Индустрия 4.0, в силу чего особо значимой становится необходимость совершенствования теоретических положений управления дефектами организационной природы при реализации проектов создания аппаратных и программных компонентов цифровой экосреды. В работе рассматривается формальная модель, создающая основу формирования сбалансированной системы основных характеристик проекта, для случая, когда в равной степени важны удовлетворённость свойствами продукта со стороны заказчика и удовлетворённость ходом реализации проекта со стороны исполнителя. Основу формирования сбалансированной системы характеристик проекта составляет рассмотрение его как статического многосвязного объекта управления. Эмпирические функциональные зависимости соответствуют прямым и перекрёстным связям между входными и выходными параметрами объекта. Особенностью построения эмпирических моделей является использование как фактических данных о бюджетах и продолжительности ранее реализованных проектов, так и субъективные экспертные оценки участников проектов. Процедура формирования сбалансированной системы характеристик проекта формализована, что делает возможным её автоматизацию. Предлагаемый подход позволяет повысить обоснованность решений о целесообразности реализации проекта силами предполагаемого исполнителя с учётом приоритетности бюджета и длительности реализации проекта для заказчика.

Ключевые слова: управление проектом, многосвязный объект управления, заинтересованные стороны, формальная модель, экспертные оценки, измерительные данные.

Цитирование: Гвоздев, В.Е. Формирование параметров модели управления проектом на основе линеаризации функциональных зависимостей / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Д.Р. Ахметова, Г.Р. Сафина // *Онтология проектирования*. – 2020. – Т. 10, №4(38). – С.527-539. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-527-539.

Введение

Одним из вызовов четвёртой промышленной революции является требование предоставления продуктов, обладающих ценными для разных целевых групп потребителей свойствами в темпе быстро меняющихся предпочтений. Из этого вытекает необходимость развития теоретических положений, методических и инструментальных средств, предназначенных для предупреждения возникновения и раннего обнаружения в системах управления проектами дефектов разной природы: организационных; технологических; обусловленных психологическими особенностями разработчиков [1-6]. В настоящее время качество информационной поддержки управления становится критическим фактором реализации положений доктрины Индустрия 4.0. Особо значимой становится необходимость совершенствования теоретических положений управления дефектами при реализации аппаратных и программных компонентов цифровой экосреды.

В работе [7] отмечается, что причиной неудачного завершения проектов являлось отсутствие взаимопонимания людей, участвующих и вовлечённых в организацию и реализацию проектов. Получившие в настоящее время широкое распространение методы и модели

управления проектами – ISO 21500 [8], ICVIRMA [9], PMBOK PMI [10], НТК СОВНЕТ [11] – предназначены для уровня исполнителей: руководителей проектов, управляющей команды, специалистов. Недостаточно развита методическая и модельная основа поддержки деятельности основных заинтересованных сторон, т.е. уровня принятия стратегических решений. К настоящему времени среди методов поддержки принятия стратегических решений с учётом позиций разных заинтересованных сторон наибольшее распространение получили методы, реализованные в рамках дескриптивного подхода, ограничивающиеся исследованиями на содержательно-описательном уровне. Отмечается необходимость совершенствования обеспечения на основе математических моделей, в том числе моделей со стохастическими параметрами [7].

Анализ источников позволяет утверждать, что наибольшее развитие получили методы выявления дефектов, обусловленных преобразованием функциональных и нефункциональных требований в коды. Эти методы ориентированы на реализацию реактивного подхода к управлению дефектами технологической природы. В то же время, не получили необходимого развития методы проактивного управления дефектами [3, 6, 12], в основе которых лежит предупреждение ошибок системного характера на стадии формирования организационной структуры проекта. Одной из причин возникновения дефектов системного характера в организации проектов является несбалансированность основных характеристик проекта (бюджета, длительности реализации, требований к качеству результатов, в общем случае различающимися у разных целевых групп пользователей). В [13] отмечается, что одним из проявлений несбалансированности характеристик программных проектов является недостаток времени, выделяемого на испытания соответствия потребительских свойств программных компонент информационно-вычислительных систем требованиям технического задания, что является причиной аварий, зачастую имеющих трагические последствия (см., например, [14]).

В настоящей работе рассматривается задача построения формальной модели, являющейся основой формирования сбалансированной системы характеристик проекта, для случая, когда в равной степени важны удовлетворённость свойствами продукта со стороны заказчика и удовлетворённость ходом реализации проекта со стороны исполнителя.

1 Основные допущения предлагаемого подхода

Основу предлагаемого подхода к решению задачи составляют следующие допущения.

- Потребительские свойства конечного продукта определяются организацией и ходом реализации проекта. Основанием этому служат известные утверждения о том, что поведение системы определяется её устройством [15] и, что причинами нежелательных событий, возникающих при управлении сложными субъектоцентрическими системами, являются в первую очередь ошибки в организации управления сложной системой и во вторую очередь - ошибки операторов [4].
- Проект создания сложной системы рассматривается как статический многосвязный объект управления. Это даёт основание рассматривать прямые и перекрёстные связи между входными и выходными параметрами проекта как строгие функциональные зависимости с неизменной структурой и параметрами. Содержание этого допущения является выражением известного положения о взаимовлиянии качества управления проектом и потребительских свойств получаемого продукта (см., например, [16]).
- Программные системы относятся к классу субъектоцентрических систем. При оценивании проектов нужно одновременно использовать как их измерительные данные, так и субъективные оценки потребителей и исполнителей. При оценивании качества хода проекта и потребительских свойств получаемого продукта в равной степени важно учиты-

вать удовлетворённость исполнителей и заказчиков. В качестве входных параметров проекта рассматриваются бюджет и длительность реализации проекта. В качестве выходных – удовлетворённости представителей заказчика и исполнителей проекта [16, 17].

- Ожидаемый исход проекта в равной мере определяется как ограничениями на бюджет и длительность реализации проекта, так и опытом исполнителя в реализации проектов аналогичного содержания. Содержание этого допущения является выражением известного «принципа ресурсов» [18] и того обстоятельства, что проект сложной системы является разновидностью субъектоцентрических систем [19].
- Допущение о сопоставимости и однородности (в статистическом смысле) исторических данных об основных параметрах проектов и полученных в ходе их реализации продуктов. Основаниями для такого допущения являются то, что организации-разработчики специализируются на реализации проектов в определённой предметной области и то, что внутри организации накапливается опыт решения задач определённой тематической направленности [20], а также то, что ключевые моменты деятельности сотрудников регламентируются стандартами и руководствами.

2 Модель проекта как многосвязного объекта управления

2.1 Структура модели

Проекту, как многосвязному объекту управления, может быть поставлена в соответствие графическая модель, представленная на рисунке 1.

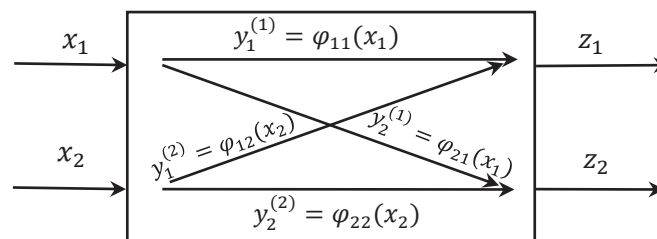


Рисунок 1 – Модель проекта как многосвязного объекта управления

Входными (управляемыми) параметрами модели являются x_1 – бюджет и x_2 – длительность реализации проекта. Выходными параметрами являются удовлетворённость заказчика z_1 и исполнителя z_2 .

Эмпирические функциональные зависимости $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$, ($i, j = 1, 2$), соответствующие прямым и перекрёстным связям многосвязного объекта, являются строгими. Эмпирические функциональные зависимости строятся на основе измерительных данных и экспертных оценок относительно потребительских свойств созданных продуктов и хода ранее реализованных проектов.

Совместное влияние входных характеристик x_i на выходные определяется на основе функциональных зависимостей, характеризующих прямые и перекрёстные связи $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$:

$$A^{(j)}: \{y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)\} \rightarrow z_j = \Phi_j(x_1, x_2), i, j = 1, 2. \quad (1)$$

Здесь $A^{(j)}$ – оператор свёртки, соответствующий j -му выходному параметру модели.

2.2 Операторы свёртки

Основу формирования операторов свёртки $A^{(j)}$, преобразующих функциональные зависимости $\{y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)\}$, характеризующие прямые и перекрёстные связи в зависимости вида $z_j = \Phi_j(x_1, x_2), i, j = 1, 2$, составляют следующие положения.

Областью допустимых значений для характеристики удовлетворённости z_j считается интервал $z_j \in [0, 1], j = 1, 2$. Нижняя граница интервала соответствует варианту, когда субъекты (потребитель/исполнитель) абсолютно не удовлетворены результатами/ходом проекта. Верхняя граница интервала соответствует их абсолютной удовлетворённости.

Удовлетворённость потребителя уменьшается по мере увеличения как бюджета x_1 , так и длительности реализации проекта x_2 . Поэтому функциональные зависимости $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i)$ являются обратными. При этом возможна компенсация одного параметра другим. К примеру, компенсация изменения длительности реализации проекта за счёт изменения бюджета проекта и наоборот [13].

С точки зрения заказчика возможна реализация проекта нулевой длительности, что фактически соответствует приобретению готового продукта. Исходя из изложенного выше, можно утверждать, что $\Phi_1(x_1, x_2)$ можно представить аддитивной функцией, т.е.

$$z_1 = \varphi_{11}(x_1) + \varphi_{21}(x_2) \quad (2)$$

Удовлетворённость исполнителей, напротив, растёт с увеличением как бюджета x_1 , так и длительности реализации x_2 проекта. Постулируется, что исполнитель отказывается от реализации проекта, если хотя бы одна из его характеристик $x_i (i = 1, 2)$ равна нулю.

Исходя из этих соображений можно заключить, что в качестве $\Phi_2(x_1, x_2)$ можно использовать:

$$z_2 = \varphi_{12}(x_1) * \varphi_{22}(x_2) \quad (3)$$

т.е. мультипликативную функцию.

3 Постановка и схема решения задачи

Известен вид функциональных зависимостей $y_j^{(i)} = \varphi_{ij}(x_i), i, j = 1, 2$.

Требуется оценить значения параметров проекта $x_i^{(OUT)} (i = 1, 2)$, при которых достигается наименьшее различие в удовлетворённости результатами проекта потребителей z_1 и исполнителей z_2 .

Очевидно, что наименьшее различие в удовлетворённости результатами проекта потребителями и ходом проекта исполнителями достигается при $z_1 = z_2$. Этому условию соответствует соотношение

$$\varphi_{12}(x_1) * \varphi_{22}(x_2) = \varphi_{11}(x_1) + \varphi_{21}(x_2). \quad (4)$$

При этом должны соблюдаться ограничения:

$$0 \leq \varphi_{11}(x_1) + \varphi_{21}(x_2) \leq 1, \quad (5)$$

$$0 \leq \varphi_{12}(x_1) * \varphi_{22}(x_2) \leq 1, \quad (6)$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2. \quad (7)$$

Вначале рассмотрен случай, когда прямые и перекрёстные связи представляются линейными зависимостями. При этом критичность величины бюджета и длительности реализации проекта для заказчика характеризуются параметрами a_{11} и a_{21} , а предыдущий опыт реализации проектов исполнителями характеризуется параметрами b_{12} и b_{22} .

Совокупное влияние x_1, x_2 на z_1, z_2 определяется соотношениями:

$$z_1 = (a_{01} - a_{11} x_1) + (a_{02} - a_{21} x_2), \quad (8)$$

$$z_2 = b_{12} x_1 * b_{22} x_2. \quad (9)$$

Предполагая равное влияние бюджета и длительности реализации проекта на удовлетворённость заказчика, а также то, что при $x_1 = x_2 = 0$ (результат получается моментально и даром) удовлетворённость заказчика максимальна, получаем $a_{01} = a_{02} = 0,5$.

Тогда

$$z_1 = 1 - a_{11} x_1 - a_{21} x_2, \quad (10)$$

$$z_2 = b_{12} x_1 * b_{22} x_2 = B x_1 x_2. \quad (11)$$

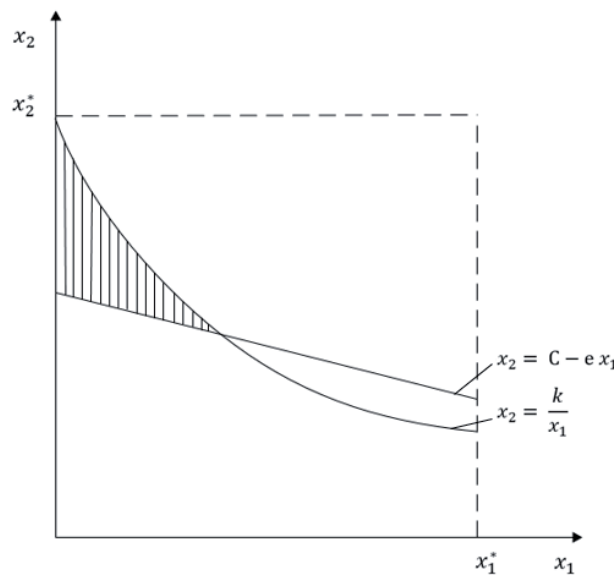
С учётом того, что $z_j \leq 1$, из (10) и (11) получаем

$$x_2 \geq \frac{1 - a_{11} x_1}{a_{21}} = C - e x_1, \quad (12)$$

$$x_2 \leq \frac{k}{x_1}, \quad (13)$$

где $C = \frac{1}{a_{21}}$, $e = \frac{a_{11}}{a_{21}}$, $k = \frac{1}{B}$.

Соотношения (12) и (13) определяют область, в которой возможен поиск $x_1^{(OUT)}$ и $x_2^{(OUT)}$. Эта область на рисунке 2 выделена штриховкой.



На основании полученных зависимостей с учётом реальных ограничений на бюджет x_1^* и длительность реализации проекта x_2^* на ранних стадиях проекта можно оценить предполагаемое качество результатов с учётом опыта взаимодействия исполнителя и заказчика.

На рисунках 3-5 приведены примеры результатов оценки, соответствующие различным представлениям о ценностях заказчика и исполнителя.

На рисунке 3 значения параметров соответствуют случаю, когда удовлетворённость заказчика определяется длительностью реализации проекта и практически не зависит от величины бюджета проекта. Удовлетворённость исполнителя определяется как величиной бюджета проекта, так и длительностью реализации проекта. Содержательно такая ситуация может иметь место при обеспечении информационной поддержки ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, когда в качестве заказчика на информационное обслуживание выступают органы исполнительной власти, а исполнителями – научно-производственные организации, являющиеся структурными подразделениями этих органов.

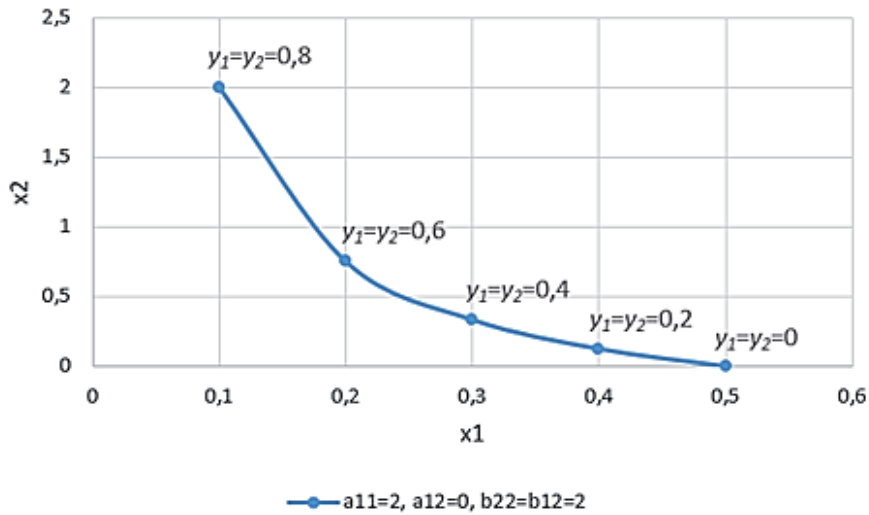


Рисунок 3 - Пример зависимости степени удовлетворённости от $x_i^{(OUT)}, i = 1, 2$ при фиксированных значениях параметров a_{ij} и b_{ij} .

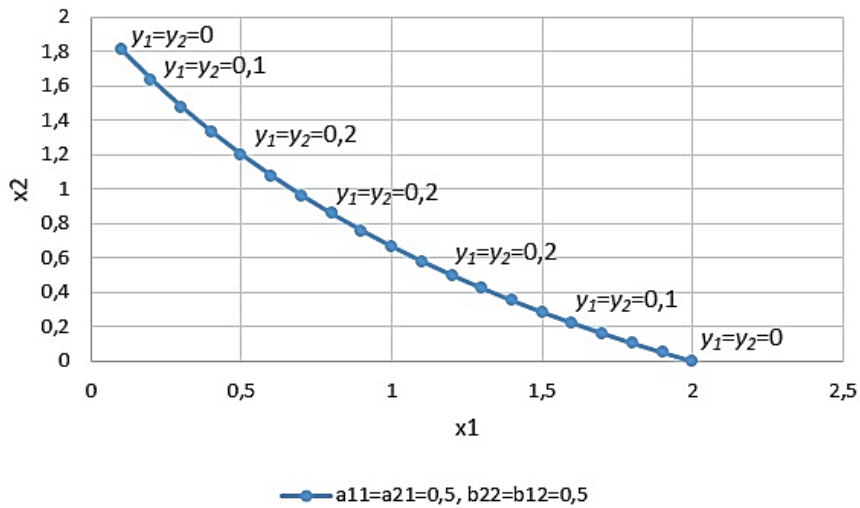


Рисунок 4 - Пример равного влияния бюджета и длительности реализации проекта на удовлетворённость заказчика и исполнителя

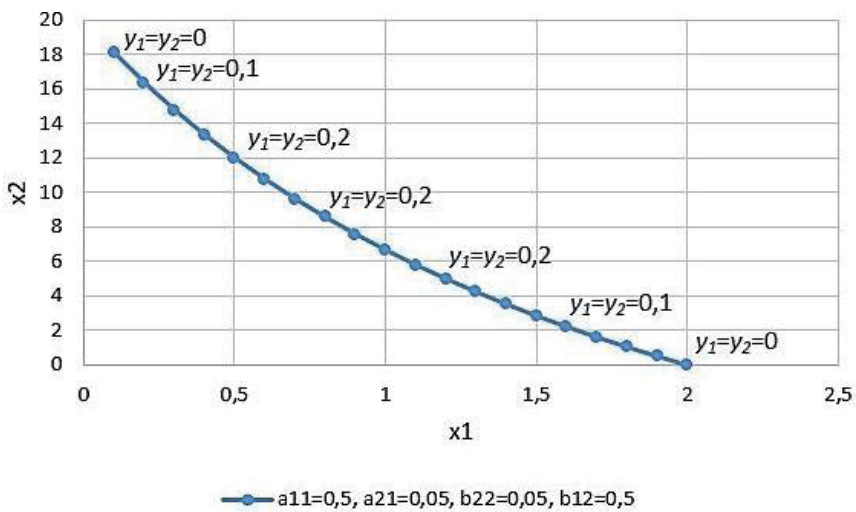


Рисунок 5 – Пример важности значения величины бюджета проекта по сравнению со сроками его реализации

4 Квантификация экспертных оценок

Организация проектов относится к классу задач управления субъектоцентрическими системами. Это означает, что характеристики проекта в значительной степени определяются субъективными решениями, принимаемыми разработчиками и пользователями. К субъективным оценкам относятся, в частности, удовлетворённость пользователей потребительскими свойствами продукта, а также хода реализации проекта исполнителями. В силу этого при построении математических моделей проекта как многосвязного объекта управления возникает потребность в количественном выражении субъективных оценок пользователей/разработчиков. Основу предложенного подхода составляет адаптация известного аппарата лингвистических шкал и функций принадлежности, применительно к задаче количественного оценивания удовлетворённости субъектов.

Пусть удовлетворённость субъектов изменяется в диапазоне $z \in [0; 1]$. Удовлетворённость тем ниже, чем ближе значение z к нижней границе интервала, и наоборот. Нуль соответствует абсолютной неудовлетворённости; единица – абсолютной удовлетворённости.

Пусть известна заранее сформулированная в терминах лингвистическая шкала, которой пользователи, принадлежащие к одной и той же m -й целевой группе, оценивают свою удовлетворённость потребительскими свойствами продукта. Пусть для определённости эта шкала имеет вид {низкая; средняя; высокая}.

Постулируется, что оценки, даваемые пользователями, отражают их истинное независимое мнение относительно свойств продукта и на них не влияет, например, принадлежность к какому-либо альянсу [21].

Каждому l -му значению лингвистической шкалы ставится в соответствие функция принадлежности μ_l , определённая на интервале $\mu_l \in [0; 1]$. Положение максимума принадлежности l -го значения лингвистической шкалы определяется как его опорное значение r_l на оси y (рисунок 6). На рисунке 6 $\{r_l^{(H)}, r_l^{(B)}\}$ – нижняя и верхняя границы, в которых на оси y определена l -я функция принадлежности.

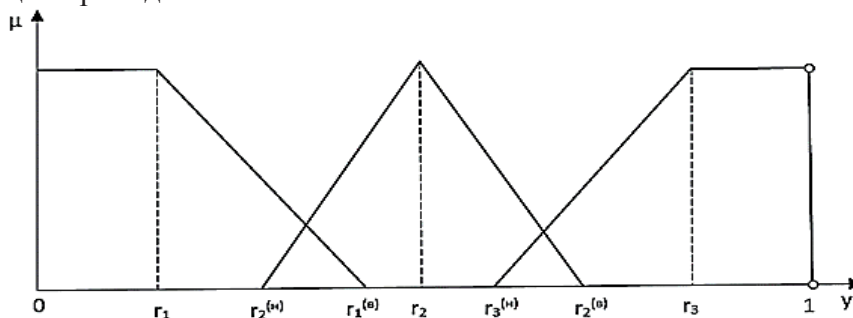


Рисунок 6 – Качественный вид функции принадлежности лингвистической шкалы

В терминах лингвистической шкалы пользователи выражают степень своей удовлетворённости потребительскими свойствами продукта. Помимо этого, каждый k -й пользователь характеризует свою уверенность в даваемой оценке, выражаемой числом $\mu_k \in [0, 1]$. В результате пользователями, принадлежащими одной целевой группе, потребительским свойствам продукта ставится в соответствие оценка вида:

$$E(m) = \frac{\sum_{k=1}^{N_m} \mu_k^{(l)} * r_l^{(k)}}{\sum_{k=1}^{N_m} \mu_k^{(l)}}, \quad (14)$$

где N_m – количество пользователей, принадлежащих m -й целевой группе; $r_l^{(k)}$ – опорное значение, соответствующее l -му значению лингвистической шкалы, определённому k -м пользователем; $\mu_k^{(l)}$ – степень уверенности k -го пользователя в даваемой оценке.

В качестве совокупной оценки степени удовлетворённости выбирается опорное значение r_l , наиболее близкое к $E^{(m)}$. Степень уверенности в полученной оценке определяется как $\mu_m(E^{(m)})$.

Основными неопределённостями, затрудняющими практическое использование (14), является выбор:

- значений r_l ;
- формы функции принадлежности μ_l ; например, в [22] приведено описание большого числа функций принадлежности разной формы, однако не определены практические рекомендации по их применению;
- значений границ $\{r_l^{(H)}, r_l^{(B)}\}$.

Для устранения выделенных неопределённостей предлагается использовать следующее.

В основу определения r_l положить учёт доли пользователей, принадлежащих m -й целевой группе и выбравших l -е значение лингвистической шкалы.

При таком подходе в качестве r_1 выступает величина $n_1^{(m)}/N_m$, где $n_1^{(m)}$ - число пользователей m -й целевой группы, выбравших значение лингвистической шкалы «низкая».

В качестве r_2 выступает величина

$$r_2 = \frac{n_1^{(m)}}{N_m} + \frac{n_2^{(m)}}{2N_m}, \quad (15)$$

где $n_2^{(m)}$ - число пользователей целевой группы, выбравших значение лингвистической шкалы «средняя».

Значение r_3 определяется соотношением

$$r_3 = \frac{n_1^{(m)}}{N_m} + \frac{n_2^{(m)}}{N_m}. \quad (16)$$

Величина r_2 , определяемая соотношением (15), представляет собой середину подинтервала между значениями r_1 и r_3 .

Относительно неопределённостей, связанных с выбором формы функции принадлежности, а также нижней и верхней границ $\{r_l^{(H)}, r_l^{(B)}\}$, необходимо отметить следующее.

Если значению r_1 соответствует максимальное значение лингвистической шкалы «низкая», то левее r_1 степень удовлетворённости увеличиться не может, т.е. μ_1 при $u \in [0; r_1]$ принимает значение 1. Правее точки r_1 уверенность эксперта в выбранной оценке падает. В силу того, что какие-либо сведения о скорости уменьшения значения μ_1 по мере удаления вправо от точки r_1 отсутствуют, следуя принципу максимизации энтропии [23] целесообразно считать эту скорость постоянной.

В силу отсутствия сведений, накладывающих ограничения на область определения μ_1 , в качестве такой области целесообразно принять весь интервал $u \in [r_1; 1]$.

С учётом высказанных соображений μ_1 принимает вид, представленный на рисунке 7. Рассуждая по аналогии, функции принадлежности для выбранной лингвистической шкалы имеют вид, представленный на рисунке 8.

Пример использования предлагаемого подхода для квантификации экспертных оценок.

Пусть в результате опроса десяти пользователей, принадлежащих одной и той же целевой группе, получены следующие оценки потребительских свойств продукта и степень уверенности в даваемых оценках: {низкая, 0.8}; {средняя, 0.95}; {средняя, 0.7}; {высокая, 0.4}; {средняя, 0.8}; {низкая, 0.7}; {средняя, 0.8}; {средняя, 0.6}; {высокая, 0.7}; {высокая, 0.9}.

В соответствии с (14) значение $E^{(m)}$ составит:

$$E^{(m)} = \frac{0,2(0,8 + 0,7) + 0,45(0,95 + 0,7 + 0,8 + 0,8 + 0,6) + 0,3(0,4 + 0,7 + 0,9)}{0,8 + 0,7 + 0,95 + 0,7 + 0,8 + 0,85 + 0,6 + 0,4 + 0,7 + 0,9} = 0,358$$

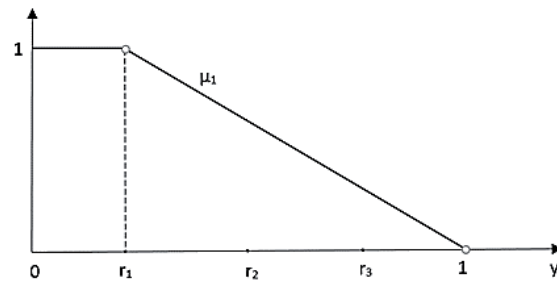


Рисунок 7 – Вид функции принадлежности μ_1

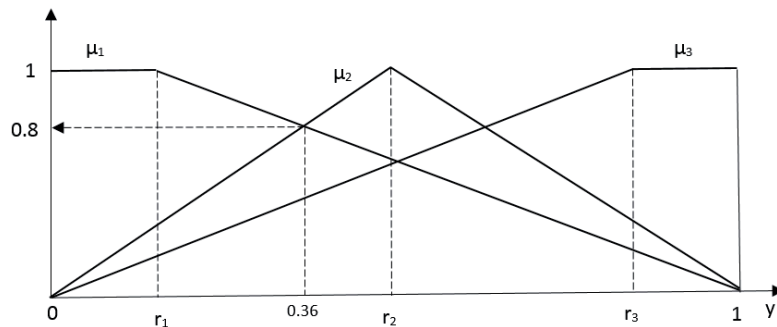


Рисунок 8 – Итоговая форма функций принадлежности лингвистической шкалы

Ближайшим опорным значением к $E^{(m)}$ оказывается $r_2 = 0,45$. Значению $E^{(m)}$ соответствует значение $\mu_m(0,36) = 0,8$ (см. рисунок 8).

Интегральной характеристикой удовлетворённости свойствами продукта всех целевых групп пользователей в рамках описываемого подхода может выступать показатель

$$E_{\Sigma} = \frac{\sum_{m=1}^M E^{(m)} * \mu_m}{\sum_{l=1}^M \mu_m}, \quad (17)$$

где $E^{(m)}$ - характеристика степени удовлетворенности m -й целевой группы пользователей; μ_m - степень уверенности в даваемой оценке.

Аналогичный подход может использоваться для исследования степени удовлетворенности ходом проекта различными профессиональными групп разработчиков и команды проекта в целом. Предлагаемый подход к квантификации экспертных оценок является в значительной степени формализованным, что позволяет реализовать его в качестве функциональной компоненты в системах поддержки принятия решений.

Заключение

Рассмотренный подход делает возможным оценить предполагаемую удовлетворённость заказчика результатами проекта, а исполнителей – ходом проекта в зависимости от бюджета и ограничений на длительность проекта с учётом опыта, полученного от ранее реализованных проектов. Предложенная формальная модель проекта, как многосвязного объекта управления, даёт возможность повысить обоснованность принятия стратегических решений по организации проекта основными заинтересованными сторонами. Ограничениями модели являются: линейный характер функциональных зависимостей, характеризующих прямые и перекрёстные связи; предположение о равных приоритетах интересов заказчика и исполнителя.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №19-08-00937 А «Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами, реализуемыми в среде производственных предприятий».

Список источников

- [1] **Walia, G.S.** A systematic literature review to identify and classify software requirement errors / G.S. Walia, J.C. Carver // *Information and Software Technology*. 2007. P.1087-1109.
- [2] **Soltanmohammadi, S.** Main human factors affecting information system security / S. Soltanmohammadi, S. Asadi, N.I. Norafida // *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. 2013. Vol. 5(7). P.329-354.
- [3] **Huang, F.** Bin Liu Software defect prevention based on human error theories / F. Huang, B. Liu // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2007. Vol. 30(3). P.1054-1070.
- [4] **Shappell, S.A.** The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS / S.A. Shappell, D.A. Wiegmann // U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2000.
- [5] **Pelaez, C.E.** Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis / C.E. Pelaez, J.B. Bowles // *Information Sciences*. 1996. 88(1). P.177-199.
- [6] **Гвоздев, В.Е.** Модели возникновения ошибок на предпроектной стадии разработки компонент информационно-вычислительных систем / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.А. Насырова // *Онтология проектирования*. – 2020. – Т. 10, №1(35). – С.73-86. - DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [7] **Гельруд, Я.Д.** Управление проектами: методы, модели, системы / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.
- [8] ISO 21500:2012. Guidance on project management. International Organization for certification, 2012. - <https://www.iso.org/standard/50003.html>.
- [9] ICB IPMA Competence Baseline Version 3.0. International Project Management Association. Editorial committee: G. Caupin, H. Knoepfel, G. Koch, K. Pannenbäckerb, F. PérezPollo, C. Seabury. – IPMI, 2006.
- [10] ANSI/PMI 99-01-2004.A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Publisher: Project Management Institute, 2012.
- [11] Управление проектами: Основы профессиональных знаний, Национальные требования к компетентности специалистов (NCB – SOVNET National Competence Baseline Version 3.0). М: ЗАО «Проектная практика», 2010. – 256 с.
- [12] **Гвоздев, В.Е.** Эвергетика как методологическая основа управления выявлением дефектов на предпроектной стадии жизненного цикла систем обработки данных / В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова. // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, №1(27). - С.152-166. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-152-166.
- [13] **Макконнелл, С.** Сколько стоит программный проект / С. Макконнелл. – СПб.: Питер, 2007. – 296 с.
- [14] **Travis, G.** How the Boeing 737 Max Disaster Looks to a Software Developer / G. Travis. - <https://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/how-the-boeing-737-max-disaster-looks-to-a-software-developer>.
- [15] **Donella, H.** Meadows Thinking in Systems: A Primer / H. Donella. - Chelsea Green Publishing, 2008.
- [16] CHAOS Report. The Standish Group International, Inc., 2015. - https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf.
- [17] **Тимофеев, А.Н.** Почему падают IT- проекты? / А.Н. Тимофеев // *Практика проектирования систем*. 15.06.2017. - <http://reqcenter.pro/why-it-fails/>.
- [18] **Sunday, E.** Extension and Modification of Anticipatory Failure Determination Approach based on I-TRIZ / E. Sunday // *Master Thesis*, 2014.
- [19] **Афанасьев, Ф.** Управление проектами в стиле ДРАЙВ / Ф. Афанасьев. – М: Издательские решения, 2017. – 90 с.
- [20] **Шведин, Б.Я.** Онтология предприятия. Экспириентологический подход. Технология построения онтологической модели предприятия / Б.Я. Шведин. - М: Ленанд, 2010. – 240 с.
- [21] **Embray, D.** Understanding Human Behaviour and Error / D. Embray // *Human Reliability Associates*, 2005.
- [22] **Зак, Ю.А.** Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю.А. Зак. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 352 с.
- [23] **Каган, А.М.** Характеризационные задачи математической статистики / А.М. Каган, Ю.В. Линник, С.Р. Рао. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 1972. - 656 с.

Сведения об авторах



Гвоздев Владимир Ефимович, 1956 г. рождения. Окончил Уфимский авиационный институт им. Орджоникидзе в 1978 г., д.т.н. (2000). Профессор кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов более 350 работ в области прикладного статистического анализа, информационной поддержки управления программными системами, информационной поддержки управления состоянием территориальных систем. AuthorID (РИНЦ): 174520. Author ID (Scopus): 7101700484. wega55@mail.ru.

Бежаева Оксана Яковлевна, 1977 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет в 2000 г., к.т.н. (2004). Доцент кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов более 100 работ в области разработки моделей и программного обеспечения сложных производственных и социально-экономических систем. AuthorID (РИНЦ): 271220. Author ID (Scopus): 57216845244. obezhaeva@gmail.com.



Ахметова Динара Раилевна, 1992 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет в 2014 г. Аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов 28 работ в области программно-аппаратных комплексов технических систем. AuthorID (РИНЦ): 943467. Author ID (Scopus): 57204756902. dinara.akhmetova.92@gmail.com.



Сафина Гульнур Радиковна, 1997 г. рождения. Магистрант Уфимского государственного авиационного технического университета по направлению «Информатика и вычислительная техника». В списке научных трудов 5 работ в области программно-аппаратных комплексов технических систем. lafleur300997@gmail.com.

Поступила в редакцию 06.08.2020. Принята к публикации 09.12.2020.

Formation of project management model parameters based on linearization of functional dependencies

V.E. Gvozdev, O.Ya. Bezhaeva, D.R. Akhmetova, G.R. Safina

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Abstract

At present, the quality of information support for management is becoming a critical factor in the implementation of the provisions of the Industry 4.0 doctrine, due to which the need to improve the theoretical provisions for managing organizational defects in the implementation of projects for creating hardware and software components of the digital environment becomes especially significant. The paper considers a formal model that creates the basis for the formation of a balanced system of the main characteristics of the project, for the case when satisfaction with the properties of the product on the part of the customer and satisfaction with the progress of the project on the part of the contractor are equally important. The basis for the formation of a balanced system of project characteristics is its consideration as a static multi-connected control object. Empirical functional dependencies correspond to direct and cross connections between the input and output parameters of the object. A feature of constructing empirical models is the use of both actual data on budgets and the duration of previously implemented projects, and subjective expert assessments of project participants. The procedure for forming a balanced system of project characteristics is formalized, which makes it possible to automate it. The proposed approach makes it possible to increase the validity of decisions on the feasibility of implementing the project by the forces of the proposed contractor, taking into account the priority of the budget and the duration of the project for the customer.

Key words: project management, multi-connected object of management, stakeholders, formal model, expert judgment, measurement data.

Citation: Gvozdev VE, Bezhaeva OYa, Akhmetova DR, Safina GR. Formation of project management model parameters based on linearization of functional dependencies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 527-539. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-527-539.

Acknowledgment: The research was carried out with the support of the RFBR grant No. 19-08-00937 "Methods and models of intellectual support for decision-making in the management of software projects implemented in the environment of industrial enterprises".

List of figures

- Figure 1 - Model of the project as a multi-connected control object
Figure 2 - Search area $x_i^{(OUT)}$, $i = 1, 2$
Figure 3 - An example of the dependence of satisfaction level from $x_i^{(OUT)}$, $i = 1, 2$ when the parameters a_{ij} and b_{ij} have fixed values
Figure 4 - An example of the equal influence of the budget and the duration of the project on the satisfaction of the customer and the contractor
Figure 5 - An example of the importance of the project budget value in comparison with the timing of its implementation
Figure 6 - Qualitative view of the membership functions of linguistic scale
Figure 7 - Membership function type μ_1
Figure 8 - The final form of the membership function of linguistic scale

References

- [1] **Walia GS, Carver JC.** A systematic literature review to identify and classify software requirement errors. *Information and Software Technology*. 2007; 1087-1109.
- [2] **Soltanmohammadi S, Asadi S, Norafida NI.** Main human factors affecting information system security. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. 2013; 5(7): 329-354.
- [3] **Huang F, Liu B.** Software defect prevention based on human error theories. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2007; 30(3): 1054-1070.
- [4] **Shappell SA, Wiegmann DA.** The Human Factors Analysis and Classification System—HFACS. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration; 2000.
- [5] **Pelaez CE, Bowles JB.** Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. *Information Sciences*, 1996; 88(1): 177-199.
- [6] **Gvozdev VE, Bezhaeva OY, Nasyrova RA.** Models of error occurrence at the pre-design stage of the development of information and computing systems components [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 73-86. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [7] **Gelrud YD, Loginovskiy OV.** Project management: Methods, models, systems [In Russian]. Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2015.
- [8] ISO 21500:2012. Guidance on project management. International Organization for certification, 2012. - <https://www.iso.org/standard/50003.html>
- [9] ICB IPMA Competence Baseline Version 3.0. International Project Management Association. Editorial committee: G Caupin, H Knoepfel, G Koch, K Pannenbäckerb, F PérezPolo, C Seabury. IPMI; 2006.
- [10] ANSI / PMI 99-01-2004 Guide to the Body of Knowledge for Project Management (PMBOK Guide). Publisher: Project Management Institute; 2012.
- [11] Project management: the basics of professional knowledge. National requirements for the competence of project management specialists. Version 3.0 [In Russian]. Moscow: Project Practice; 2010. 256 p.
- [12] **Gvozdev VE, Chernyakhovskaya LR, Blinova DV.** Evergetics as a methodological basis for managing of defects identification at the pre-design stage of data processing systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 152-166. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-152-166.
- [13] **McConnell S.** How much does a software project cost? [In Russian]. Peter Publisher; 2007. 296 p.
- [14] **Travis G.** How the Boeing 737 Max Disaster Looks to a Software Developer. - <https://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/how-the-Boeing-737-max-disaster-looks-to-a-software-developer>.

- [15] **Donella H.** Meadows Thinking in Systems: A Primer. Chelsea Green Publishing; 2008.
 - [16] CHAOS Report. The Standish Group International, Inc.; 2015. - https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf
 - [17] **Timofeev AN.** Why are IT projects falling? [In Russian]. Practice of systems design. 2017: 2-12. <http://reqcenter.pro/why-it-fails/>.
 - [18] **Sunday E.** Extension and Modification of Anticipatory Failure Determination Approach based on I-TRIZ. Master Thesis; 2010.
 - [19] **Afanasiev F.** Project management in the DRIVE style [In Russian]. Moscow: Publishing solutions, 2017. 90 p.
 - [20] **Shvedin BYa.** Enterprise ontology. Experimental approach. Technology for constructing an enterprise ontological model [In Russian]. Moscow: Lenand; 2010. 240 p.
 - [21] **Embray D.** Understanding Human Behaviour and Error. Human Reliability Associates; 2005.
 - [22] **Zak UA.** Decision-making under fuzzy and blurry data. Fuzzy-technology [In Russian]. Moscow: Publishing House "Libercom"; 2013. 352 p.
 - [23] **Kagan AM, Linnik YuV, Rao SR.** Characterization problems of mathematical statistics [In Russian]. Moscow: FIZMATLIT; 1972. 656 p.
-

About the authors

Vladimir Efimovich Gvozdev (b. 1956) graduated from the Ufa Aviation Institute (Ufa-city) in 1978, D. Sc. Eng. (2000). Professor of the Department of Technical Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University. He is a co-author of about 350 scientific articles and abstracts in the field of applied statistical analysis, information support for managing software systems, information support for managing the state of territorial systems. AuthorID (RSCI): 174520. Author ID (Scopus): 7101700484. wega55@mail.ru.

Oksana Yakovlevna Bezhaeva (b. 1977) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2000, PhD. (2004). She is an Assistant professor at Ufa State Aviation Technical University (Department of Technical Cybernetics). She is a co-author of about 100 scientific articles and abstracts in the field of development of models and software for complex production and socio-economic systems. AuthorID (RSCI): 271220. Author ID (Scopus): 57216845244. obezhaeva.obezhaeva@gmail.com.

Dinara Railevna Akhmetova (b. 1992) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2014. She is a graduate student at Ufa State Aviation Technical University (Department of Technical Cybernetics). She is a co-author of 28 scientific articles and abstracts in the field of software and hardware systems of technical systems. AuthorID (RSCI): 943467. Author ID (Scopus): 57204756902. dinara.akhmetova.92@gmail.com.

Gulnur Radikovna Safina (b. 1997) is a magister of the Ufa State Aviation Technical University in the direction Informatics and Computer Engineering. She is a co-author of 5 scientific articles and abstracts in the field of software and hardware systems of technical systems. lafleur300997@gmail.com.

Received August 06, 2020. Accepted December 09, 2020.

Онтологический Саммит 2020 Коммюнике: Графы знаний Ontology Summit 2020: Knowledge Graphs¹

Декабрь 2020

Кен Баклавски, Северо-Восточный университет, Бостон, Массачусетс, США

Майкл Беннет, Hupercube Limited, Лондон, Великобритания

Гэри Берг-Кросс, руководитель ESIP по семантической гармонизации

Тодд Шнайдер, Engineering Semantics, Fairfax, Вирджиния, США

Рави Шарма, старший архитектор предприятия, Elk Grove, Калифорния, США

Джанет Сингер, INCOSE, Скоттс-Вэлли, Калифорния, США

Аннотация:

В настоящее время все больше данных доступно из государственных и частных источников. Кроме того, типы, форматы и количество источников данных также увеличиваются. В последние несколько лет были разработаны методы извлечения, хранения, обработки и анализа таких данных для управления этим удивительным разнообразием на основе структуры, называемой графом знаний. Компании приложили много усилий для разработки графов знаний, и теперь они имеют решающее значение для функций интеллектуальных виртуальных помощников, таких как *Siri*, *Alexa* и *Google Assistant*. Целью Онтологического саммита 2020 было понять не только, что такое графы знаний, но и то, откуда они возникли, почему они так популярны, текущие проблемы и их перспективы на будущее. На сессиях саммита было рассмотрено множество примеров графов знаний, а также соответствующие существующие и разрабатываемые стандарты для них. Цель этого Коммюнике - обобщить наше понимание, чтобы способствовать исследованиям и развитию графов знаний.

Ключевые слова: граф знаний, архитектура графа знаний, онтология, семантика, семантические сети.

Цитирование: Баклавски, К. Онтологический Саммит 2020. Коммюнике: Графы знаний / К. Баклавски, М. Беннет, Г. Берг-Кросс, Т. Шнайдер, Р. Шарма, Д. Сингер. Перевод с англ. Д. Боргест // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №4(38). – С.540-555. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-540-555.

1 Введение

Существует долгая история использования графов знаний (ГЗ) в различных областях, однако за последние несколько лет они оказались особенно важным инструментом для семантических технологий и областей исследований. Как структурированные представления семантических знаний, которые хранятся в графе, ГЗ представляют собой облегченные версии семантических сетей, которые потенциально могут масштабироваться до массивных репозиториях данных, таких как вся Всемирная паутина ["Semantic Network", 2020]. Промышленность приложила много усилий для разработки ГЗ, и теперь они имеют решающее значение для функций интеллектуальных виртуальных помощников, таких как *Siri*, *Alexa* и *Google Assistant*. Исследовательские направления, в которых актуальны ГЗ, включают прикладную онтологию, большие данные, связанные данные, открытую сеть знаний, искусственный интеллект (ИИ) и глубокое обучение.

¹ Перевод финальной версии Коммюнике Онтологического Саммита за 2020 год, опубликованного в декабре 2020 года. - <https://ontologforum.s3.amazonaws.com/OntologySummit2020/Communique/OntologySummit2020Communique.pdf>.

Предварительная краткая информация о Саммите представлена в 2-ом номере 10-го тома журнала. - [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2020_2\(36\)/9_Ontology_Summit_2020_Knowledge_Graphs.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2020_2(36)/9_Ontology_Summit_2020_Knowledge_Graphs.pdf).

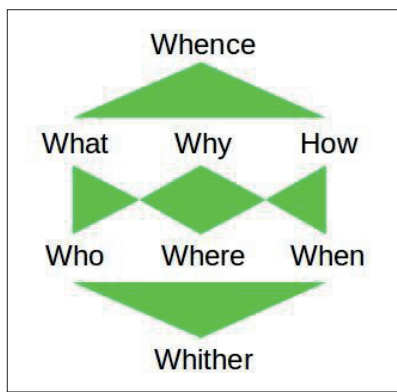


Рисунок 1 - Контекстные вопросы

В ходе виртуальных сессий, проведённых с сентября 2019 по июнь 2020 года ГЗ были рассмотрены с нескольких точек зрения. В коммюнике обобщаются и резюмируются результаты этих сессий. Онтологический саммит 2020 базировался на вопросах, ответы на которые считаются основными для сбора информации, решения проблем или установления контекста. Эти вопросы включают традиционные пять W, к которым добавили «Как», «Откуда» и «Куда», как показано на рисунке 1. Соответственно, это коммюнике построено на основе этих вопросительных слов.

Чтобы придерживаться постоянства в терминологии понятия ГЗ, раздел 2 начинается с предложения практического ответа на вопрос «Что?» для определения ГЗ, основанного на определениях, опубликованных в литературе, а также на выступлениях докладчиков и других обсуждениях во время саммита. В разделе 3 даны некоторые предложения относительно того, «Почему» ГЗ в последнее время стали популярными, а также «Откуда» возникли ГЗ. Раздел 4 посвящен вопросам «Как?», «Кто?», «Где?» и «Когда?» путём изучения примеров методов и инструментов, используемых во многих сферах деятельности систем ГЗ. Разделы 5, 6 и 7 посвящены вопросу «Куда?». В разделе 5 перечислены стандарты и усилия по стандартизации, относящиеся к ГЗ, а в разделе 6 перечислены некоторые проблемы ГЗ, которые были выявлены во время саммита. В разделе 7 обсуждаются перспективы ГЗ. Коммюнике завершается заключением и благодарностью.

Онтологический саммит 2020 охватил очень много вопросов. В этом коммюнике изложены только основные моменты 32 сессий, проведённых за 9 месяцев. Многие из того, что обсуждалось, не рассматривается в этой статье. Планируется более полно и подробно представить результаты саммита в серии статей, которые будут опубликованы отдельно.

2 Что такое граф знаний?

Начнём с рассмотрения вопроса о том, что такое ГЗ. К сожалению, существует огромное количество научных работ, а также веб-сайтов и компаний, предлагающих множество различных определений. Чтобы сформулировать чёткое определение, которое поможет в обсуждении понятия ГЗ, были рассмотрены определения из следующей литературы [Krötzsch and Thost, 2016; Paulheim, 2017; Blumauer, 2014; Färber, Ell, Menne, Rettinger and Bartscherer, 2018; Pujara, Miao, Getoor, and Cohen, 2013; Rohrseitz, 2019; Aijal, 2019; Bergman, 2019; Aasman, 2019]. У них были следующие общие моменты:

1. ГЗ представляет собой взаимоотношения. Все определения указывают эту особенность, но делают это по-разному.
2. ГЗ использует методы для извлечения знаний из одного или нескольких источников. Типы источников различаются в этих определениях.
3. Организация - это граф, хотя точное значение слова «граф» варьируется от одного определения к другому.
4. У ГЗ должна быть схема, но не во всех определениях это упоминается. В тех, в которых говорится об этом, указывается, что схема определяет классы и отношения.
5. ГЗ поддерживает различные графические вычисления, интерфейсы поиска и запросов. Поддерживаемые операции и производительность будут различаться, и производительность будет зависеть от того, как решаются компромиссы между масштабируемостью, производительностью и ремонтпригодностью, а также от других технических проблем.

Из приведённых характеристик очевидно, что ГЗ - это не просто ещё один способ представления фактов. Он затрагивает программную архитектуру, которая включает в себя активные возможности для извлечения и обработки фактов. Янс Аасман [Aasman, 2019] охарактеризовал действия ГЗ следующим образом:

- генерация:
 - сбор: загрузка, извлечение из Интернета, извлечение каталогов, онтология, ...
 - обработка: отображение схемы, разрешение сущностей, очистка, ...
- хранение;
- приложения: запросы, анализ графиков, рекомендации, поиск, ответы на вопросы, ...
- статистические методы и методы машинного обучения используются для всего вышеперечисленного.

Другой пример определения дал Никола Рорзейтц: «ГЗ - это набор точек данных, связанных отношениями, которые описывают предметную область, например, бизнес, организацию или область исследования. ... ГЗ - это вторичные или производные наборы данных: они получают путём анализа и фильтрации исходных данных. ... ГЗ также иногда называют семантическими сетями. Семантика подчеркивает тот факт, что значение кодируется вместе с соответствующими данными. Это осуществляется с помощью таксономий и онтологий ...» [Rohrseitz, 2019].

Рорзейтц продолжил описание того, как строятся и используются ГЗ. Это описание аналогично ГЗ, охарактеризованному Янсом Аасманом выше.

Принципы ГЗ, которые являются его основной отличительной чертой, могут быть причиной путаницы в отношении того, что же такое ГЗ. Это также побудило многих охарактеризовать ГЗ как «ничего нового» и как просто ещё одно модное слово. К сожалению, отчасти в этом виноват термин «граф знаний». Он имеет тенденцию предполагать, что ГЗ - это не более чем особый вид графа или сеть. Соответственно, было бы лучше использовать менее запутанный термин, такой как «архитектура ГЗ» (АГЗ), определение которого приводится ниже. Рисунок 2 - один из примеров АГЗ.

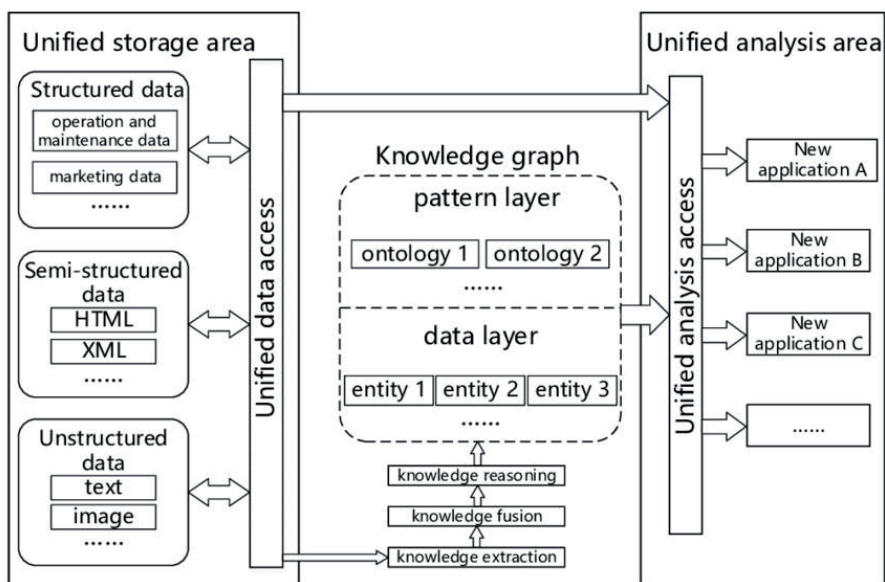


Рисунок 2 - Архитектура графа знаний из [Yuan, Zhang, Dai, Peng and Zhao, 2018]

Архитектура системы ГЗ (СГЗ) аналогична архитектуре хранилища данных (ХД). Технологии ХД использовались для интеграции и согласования данных, чтобы аналитики и пользователи могли надёжно извлекать смысл из своих больших корпоративных наборов данных.

Но, будучи хорошо зарекомендовавшим себя, подход ХД сопряжён со значительными первоначальными и текущими затратами, а также с серьезными рисками. Кроме того, из-за сложности данных ХД не обрабатывает важные области корпоративных данных. Однако ГЗ также может иметь значительные затраты и сложность. ХД используют старые технологии, которым не хватает той гибкости, что есть у ГЗ, что делает их слишком медленными для удовлетворения постоянно меняющихся требований больших данных. СГЗ предлагают более современный, гибкий и динамичный подход к обмену данными и интеграции; и, как представлено в разделе 4, в СГЗ используется множество различных методов и технологий.

Эти заключения приводят к следующему предложению по определению ГЗ и АГЗ:

- ГЗ - это набор утверждений в форме ориентированного мультиграфа с метками узлов и рёбер, позволяющего использовать несколько разнородных рёбер для одних и тех же узлов. Набор определений, определяющих значение меток ГЗ, называется его схемой.
- АГЗ обеспечивает комбинацию масштабируемых технологий, спецификаций и культур данных для представления плотно взаимосвязанных утверждений, разумным образом полученных из структурированных или неструктурированных источников в разных доменах, который читается как человеком, так и машиной.
- АГЗ вместе с набором ГЗ является СГЗ.

Ориентированный мультиграф с метками узлов и ребер - это набор из 8 элементов ($V, E, s, t, \Sigma_V, \Sigma_E, \ell_V, \ell_E$), такие что:

- 1) V - набор узлов, а E - набор рёбер;
- 2) $s: E \rightarrow V$ и $t: E \rightarrow V$ - это функции, которые определяют исходный и целевой узлы рёбер;
- 3) Σ_V - это набор меток узлов, а Σ_E - набор меток рёбер;
- 4) $\ell_V: V \rightarrow \Sigma_V$ и $\ell_E: E \rightarrow \Sigma_E$ - это функции, которые определяют метки узлов и рёбер.

Поскольку ГЗ и АГЗ являются инженерными артефактами, с ними связаны процессы разработки, тестирования, утверждения, управления, а также процессы всего жизненного цикла. По аналогии с DataOps [Liebmann, 2020], набор практик, объединяющий все эти процессы с системами ГЗ, можно назвать KnowOps. Несмотря на название «граф знаний», не существует требования, чтобы утверждения были реализованы в виде графа. СГЗ могут сами по себе быть источниками для всеобъемлющего ГЗ, который объединяет исходные ГЗ.

Хотя онтологии не указаны в определении ГЗ, они могут играть важную роль, даже если эта роль варьируется. Некоторые ГЗ включают онтологию как часть структуры, и в этом случае понятия ГЗ и онтологий по существу эквивалентны. В других случаях ГЗ и онтология не связаны, и возможно, что у одного ГЗ имеется более одной связанной онтологии, так что онтология играет роль представления реляционной базы данных.

3 Зачем использовать графы знаний?

Рассмотрим вопрос, почему ГЗ и СГЗ стали популярными. Он является частью более обширного вопроса, провокационно заданного Мэтью Уэстом [West, 2020] о том, зачем вообще нужна информация. В этом более широком контексте Янс Аасман предложил несколько причин, по которым ГЗ в последнее время стали настолько популярными [Aasman, 2019].

В бизнесе информация используется для поддержки решений. Если информация, необходимая для принятия решения, отсутствует или неточна, риск ошибки увеличивается. Итак, для поддержки решения информация должна соответствовать назначению, а это значит, что управление информацией - это процесс управления качеством, в котором информация является продуктом. Но как узнать, каковы требования к информации? Оказывается, опрос людей об их требованиях даёт ненадёжные результаты. Лучше всего записать процессы до уровня,

на котором ключевые решения объяснены. Затем можно задокументировать требования к информации для этих решений.

Информация имеет множество свойств, но только некоторые из них имеют решающее значение для её использования при принятии решений. Одно из самых сложных свойств - совместимость. Если данные совместимы, то, когда они поступают из разных источников, их можно просто объединить и сразу же использовать. Согласованные данные используют одну и ту же модель данных и контрольные данные (или, если хотите, ГЗ одной и той же онтологии). Однако, если источники не согласуются ни по отдельности, ни друг с другом, то необходимо не только извлечь информацию из источников, но и устранить несоответствия. Следовательно, для этого необходимо разработать набор инструментов. Другими словами, для информации необходима программная архитектура.

Учитывая, что нужна система сбора знаний, возникает естественный вопрос, что сделало ГЗ такими популярными. Хотя о причинах можно только догадываться, вот возможные объяснения.

- Графические базы данных теперь признаны лучшей технологией для хранения сложных семантических данных.
- Люди больше не боятся таксономий, хотя онтологии по-прежнему пугают.
- Извлечение объектов и NLP теперь стали ценными наряду с SPACY, BERT, IBM Natural Language Understanding и многими другими инструментами.
- Машинное обучение и расширенная аналитика теперь доступны в облаке [Aasman, 2019].

Обратите внимание, что в этом обосновании нет возможности рассуждать/делать выводы. Действительно, существуют успешные СГЗ, которые либо имеют минимальную схему, либо не уделяют ей значительного внимания. Тем не менее, существует общее мнение о полезности онтологий для СГЗ.

4 Методы и инструменты графа знаний

В этом разделе приведены примеры техник и инструментов, которые используются и разрабатываются для ГЗ. В разделе 4.1 описаны различные формы рассуждений и математические приёмы из теории вероятностей и теории категорий для ГЗ. В разделе 4.2 описана Открытая сеть знаний (Open Knowledge Network), программа NSF для ГЗ, которая обосновывает некоторые проекты в следующих подразделах. Одной из важных задач для ГЗ является пространственное и временное обоснование, и в разделе 4.3 представлены два проекта, направленных на её решение. Остальная часть этого раздела посвящена проектам из многих областей, в которых применялись методы ГЗ. Раздел 4.4 посвящён извлечению ГЗ из научных публикаций, раздел 4.5 посвящён ГЗ при проектировании и производстве продукции, в разделе 4.6 описаны два применения ГЗ для решения государственных задач, а в разделе 4.7 предложено использовать ГЗ для нового типа динамически интерактивного учебника. Для получения дополнительных сведений о каждом проекте см. ссылку на соответствующий слайд или видеопрезентацию в цитируемой ссылке.

4.1 Методы

Несмотря на различные определения понятия ГЗ, существует общая цель: использовать ГЗ для получения важных идей и открытий на основе данных. Анируддха Прабху определяет “идеи” как важные закономерности, тенденции и согласованную информацию, полученную из ГЗ, особенно в тех случаях, когда такие особенности не очевидны из простых задач исследования данных [Prabhu, 2020].

Использование аргументов для получения информации и выводов о данных - это метод, широко известный и используемый в сообществе семантической паутины. Но используя методы (как визуальные, так и аналитические), известные в сетевой науке, можно идентифицировать ранее невидимые закономерности и тенденции и использовать эти идеи для создания или проверки гипотез и помощи в научных открытиях.

Глобальные показатели используются для того, чтобы получить представление обо всей структуре сети и сравнить две или более сетей друг с другом. Локальные показатели используются для проверки структуры отдельной сети и выявления важных тенденций в этой сети. Алгоритмы обнаружения сообщества используются для математической идентификации групп узлов в сети, обычно в зависимости от того, как эти узлы связаны друг с другом. Наконец, Прабху изучил (как визуально, так и математически) эволюцию сети на основе изменения конкретной характеристики данных (например, времени, давления или температуры), чтобы определить, как добавление или удаление узла (или набора узлов) влияет на общую структуру сети.

Другой подход к получению информации - использовать вероятностные ГЗ, представленные [Srihari, 2020]. Эти ГЗ включают статистические модели для реляционных данных. Тройки считаются неполными и шумными. Существует два основных типа моделей: модели со скрытыми характеристиками и марковские случайные поля (MRF). Первые можно обучить с помощью глубокого обучения. MRF могут быть получены из марковских логических представлений фактов в базе данных.

Еще один способ получения информации - использовать математическую теорию категорий и функторов. В статье «Составление графов знаний изнутри и снаружи» Спенсер Брейнер объяснил, как можно формально устранить некоторые ограничения графических представлений знаний, используя базовые методы теории категорий [Breiner, 2020]. Хотя теория категорий считается очень абстрактной даже среди математиков, на самом деле категории тесно связаны с ГЗ. Категория состоит из набора объектов и стрелок (направленных связей) между ними, что и подразумевается под ориентированным графом. Этот подход можно применить к практическим вопросам. Чтобы проиллюстрировать это, была показана проблема планирования открытых магазинов в исследовании операций с использованием теории категорий.

4.2 Программа Open Knowledge Network

Open Knowledge Network (OKN) - это программа Национального научного фонда США, в цели которой входят следующие разработки:

- развитая инфраструктура научных данных, которая является интероперабельной и имеет открытую архитектуру, что упрощает доступ и связывание разнородных продуктов данных;
- открытая семантическая информационная инфраструктура для открытия новых знаний из множества разрозненных источников знаний;
- непатентованная инфраструктура общих знаний с особым упором на общедоступные данные, например, данные правительства США, научные данные и другие аналогичные общедоступные наборы данных [Baru, 2020].

OKN приносит пользу множеству областей применения, включая научные и инженерные исследования. Если говорить более кратко, то это «Siri для науки». Спонсируемые проекты OKN включают общие темы:

- интеграция разнородных типов данных;
- размещение динамической информации;
- поддержка доступа и взносов в ГЗ со стороны разнородных сообществ пользователей;

- включение новой информации в ГЗ с использованием подходов машинного обучения и краудсорсинга.
Некоторые из описанных ниже проектов спонсируются программой ОКН.

4.3 Временные и пространственные проекты

Одна из проблем, стоящих перед ГЗ, - это проблема представления времени и пространства. Даже очень мощные системы ИИ могут не справиться с временем. Если вы спросите Google: «Сколько лет Джо Байдену?» или «Сколько лет Митчу МакКоннеллу?», вы получите правильные ответы; но если вы спросите: «Кто старше, Джо Байден или Митч МакКоннелл?», всё, что вы получите, - это ссылки на статьи, в которых упоминаются оба политика. Проблема в том, что хотя ГЗ обычно включают временные характеристики сущностей, они рассматриваются как текстовые строки, не более, без какой-либо другой семантики. Более того, многие характеристики и связи, которые фактически зависят от времени, такие как пространственная протяжённость стран, считаются вневременными. Эта ситуация удивительна, поскольку темпоральное мышление широко развито в ИИ и управлении базами данных. Некоторые аспекты временных и пространственных мышлений были рассмотрены на Онтологическом саммите 2018 по контексту и онтологиям [Waclawski et al, 2018]. Кроме того, органы по стандартизации разрабатывают стандарты временного и пространственного представления и мышления, как описано в разделе 5. К сожалению, в рамках ГЗ время является второстепенным, если оно вообще включается. Пространственное мышление имеет аналогичные проблемы, хотя потребность в пространственном мышлении встречается реже, чем во временном мышлении. Исследовательское сообщество ГЗ должно исследовать все аспекты времени и пространства, от абстрактных до конкретных, от общих рассуждений до весьма конкретных применений. В долгосрочной перспективе преимущества эффективных, гибких временных и пространственных мышлений для систем ИИ будут большими [Davis, 2020]. Следующие два проекта пытаются разобраться в данной проблеме.

KnowWhereGraph, разработанный Кшиштофом Яновичем, - это проект, который выводит географическую информационную систему (ГИС) на новый уровень, предоставляя связанные технологии на основе открытых графов и семантического обогащения, выходящие далеко за рамки заранее определённых тем данных и разрозненных хранилищ [Janowicz, 2020]. Конечная цель - понять, как создавать значимые характеристики (независимые переменные) с помощью ГИС на базе ГЗ для последующих моделей, таких как прогнозирование цепочки поставок или картографирование состояния почвы, путём включения пространственно-временной семантики.

Шон Гордон является частью команды, которая создаёт прототип ОКН для поддержки пространственных решений [Gordon, 2020]. На основе существующей работы членов группы были созданы четыре подгруппы по изучению конкретных примеров, которые работают над анализом потребностей многосторонних организаций, сосредоточенных на трёх основных экологических темах (качество воды, лесные пожары, биоразнообразие) в различных регионах запада США; была создана одна подгруппа по изучению конкретных примеров, которая работает над профессиональным комплексом знаний в области географической информации и технологий (GIS&T BoK). Каждая из четырёх подгрупп по изучению конкретных случаев использовала интервью и/или семинары, чтобы сотрудники выявляли проблемы и вопросы, которые необходимо знать (NTKC/Qs). Этот подход помог приоритезировать: а) схему ГЗ, которая будет поддерживать принятие решений по каждой теме; б) ресурсы поддержки пространственных решений для добавления в ГЗ; в) конкретные варианты использования.

4.4 Научные публикации

Основной продукт науки - публикации. Существует около 30 000 журналов, и ежегодно публикуется около двух миллионов статей. Усилия по извлечению знаний из научных записей появились ещё до появления Всемирной паутины [Baclawski, Futrelle, Fridman, and Pescitelli, 1993; Baclawski et al, 1993]. Иоланда Гил описывает семь онтологий, которые предоставляют необходимые возможности, но ещё предстоит проделать большую работу для более полного сбора научных данных. Неужели мы далеки от того дня, когда каждая научная статья будет правильно связана с гипотезами, моделями, программным обеспечением, происхождением, рабочими процессами и другими ключевыми научными объектами в Интернете, как показано на рисунке 3? Смогут ли инструменты ИИ обеспечить доступ к этой информации для получения новых результатов? Смогут ли системы ИИ в конечном итоге автономно писать научные статьи в будущем? [Gil, 2020].

Capturing Scientific Knowledge

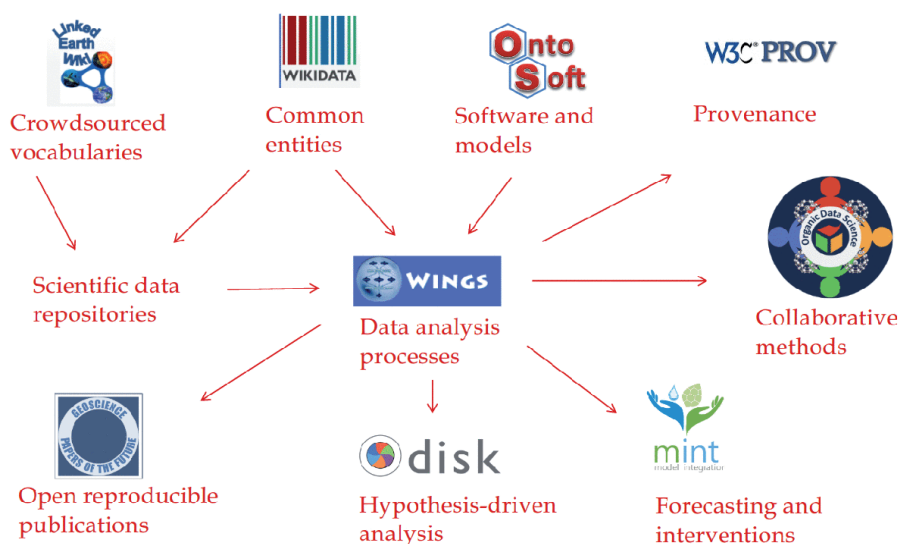


Рисунок 3 - Связи между объектами научного знания из (Gil, 2020)

4.5 Производство

Задача проекта *Manufacturing Open Knowledge Graph* (MOKN) - структурировать всемирную общедоступную информацию о проектировании и производстве продукции [Starly, 2020]. Большее влияние MOKN заключается в том, чтобы сделать доступной информацию о поставках критически важных компонентов, мгновенном сборе данных о конкретных производственных возможностях, местонахождении этих услуг и доступности ресурсов. Глобальный пандемический кризис является примером важности этих знаний, особенно для альтернативных источников и предварительной квалификации поставщиков, что может иметь последствия для здравоохранения и национальной безопасности. Доступность также расширяет возможности в сёлах и маленьких городках, зависящих от производственных услуг.

4.6 Правительство

В Великобритании Мэтью Уэст участвует в амбициозной попытке создать Цифрового двойника (Digital Twin) всей национальной инфраструктуры. Цель - создать распределённого Цифрового двойника согласованных данных, чтобы авторизованные пользователи могли де-

лать к нему запросы, и он мог ответить на такие вопросы, как: «Какие блоки башни имеют такой же тип облицовки, как башня Гренфелл?» Ландшафт управления информацией выдвигает информацию, необходимую для поддержки важнейших свойств данных и процесса управления качеством информации. Частью этой инфраструктуры является интеграционная архитектура, которая позволяет виртуализировать распределённый национальный Цифровой двойник, чтобы пользователи могли видеть его как единую базу данных с доступом только к тем данным, которые им разрешено просматривать [West, 2020]. Фактически, это система ГЗ, для которой базовые исходные данные извлекаются из большого набора систем ГЗ, каждая из которых предназначена для одного города или небольшого региона.

Проект *Rich Context*, описанный Пако Натаном, представляет собой АГЗ платформы административных исследований данных (*Administrative Data Research Facility - ADRF*), которая в настоящее время используется 50 федеральными, государственными и местными агентствами в США для выявления людей с конкретным опытом [Nathan, 2020]. ADRF был назван первым примером безопасного доступа к конфиденциальным данным в заключительном отчёте Комиссии по разработке политики на основе фактов.

4.7 Образование

Студенты колледжей сегодня сталкиваются с проблемой усвоения концепций в новых предметных областях и соотнесения этих концепций с несколькими дисциплинами, хотя их учебники можно охарактеризовать как «один размер подходит всем». В работе «Учебник сети открытых знаний» Винеи К. Чаудри представил интеллектуальные учебники (*Intelligent Textbooks - ITB*) с использованием ИИ и ГЗ для решения этих проблем. Учащиеся могут динамически взаимодействовать с содержанием учебника, повышая их способность понимать концепции, повышая вовлечённость, улучшая академическую успеваемость [Chaudhri, 2020].

5 Стандарты

Далее представлены некоторые стандарты, относящиеся к ГЗ. Что делает стандарты особенно полезными для ГЗ, так это то, что между многими разработанными ГЗ есть существенные различия. Стандарты могут помочь таким разрозненным ГЗ взаимодействовать друг с другом. Стандарты также служат целям развития ГЗ. Например, можно разработать стандарт для представления объектов и отношений для производственного ГЗ, который можно использовать во всем мире для разработки ГЗ в определённой области. Эти ГЗ могут быть легко интегрированы на более позднем этапе. Системы ГЗ различаются не только источниками своих знаний (например, Интернет, сенсорные данные в некоторых областях, данные коммерческих транзакций и т.д.), но и операциями по генерированию, обработке и использованию результатов. Например, поддерживает ли система ГЗ рассуждения? Если да, то что за рассуждения? Доступен ли для рассуждений целый ГЗ? Когда используются рассуждения или умозаключения, ожидается, что результат такого действия даст результаты, согласующиеся с ожидаемой интерпретацией. Такая интерпретация основана на различиях между объектами, участвующими в умозаключении, и выражается (обычно на естественном языке) через символы (также известные как метки), используемые в представлении.

ГЗ создается для удовлетворения определённых потребностей и использования в определённом контексте, хотя контекст может быть недостаточно понятен (или представлен). Следовательно, ГЗ обязательно будет иметь ограничения по охвату (т.е. поле деятельности) и полноте (уровню детализации), что будет препятствовать взаимодействию. Есть несколько способов справиться с этой проблемой. Один из вариантов - использовать онтологический анализ при создании ГЗ. С этим связано использование хорошо разработанной онтологии в

качестве схемы, основанной на таком анализе. Другой вариант - использовать применимые стандарты (например, инженерные, терминологические, логические и т.д.), которые являются предметом данного раздела.

В статье о роли стандартов в инновациях Аллен и Шрирам заявляют: «Стандарты - это задокументированные соглашения, содержащие технические рекомендации, обеспечивающие соответствие материалов, продуктов, процессов, представлений и услуг своему назначению» [Allen and Sriram, 2000]. Затем они обсуждают, как стандарты, введенные в нужное время, приведут к большим инновациям. Например, стандартизованная нотная грамота на протяжении сотен лет стимулирует творческие музыкальные композиции.

Лиза Карнахан более подробно остановилась на стандартах и процессе их создания в своём выступлении «Стандартный процесс ИТ» [Carnahan, 2020]. В США стандарты разрабатываются организациями по разработке стандартов (SDO). SDO - это любая организация, которая разрабатывает и утверждает задокументированные стандарты с использованием различных методов для достижения консенсуса среди своих участников. Существуют сотни SDO. Такие организации могут быть: аккредитованными (например, аккредитованными ANSI INCITS или NIST ITL); на основе международных договоров (например, ITU-T, ICAO); на основе международного частного сектора (например, ISO/IEC или IEEE); международный консорциум (например, OMG, OASIS, IETF, W3C); или государственное учреждение (например, DoD, DHS, NIST).

Одна из SDO - это ISO, крупнейший в мире разработчик добровольных международных стандартов. Барри Смит рассказал о своём опыте улучшения взаимодействия ГЗ в статье «От BFO до IOF и до ISO/IEC 21838» [Smith, 2020]. Этот стандарт называется «Информационные технологии - онтологии верхнего уровня» и включает в себя в качестве одной из своих частей Базовую формальную онтологию (BFO). Онтологии были чрезвычайно успешными в биомедицинской области в течение 20 лет, где геновая онтология (GO), представляющая знания о генах и генных продуктах и первая версия которой была создана в 1998 году, с самого начала называлась «направленным ациклическим графом». Фундаментальная онтология GO - это BFO. С ростом влияния данных из проектов генома человека и других модельных организмов потребность в аннотации данных в мире биомедицинской информатики значительно расширилась, и это привело к созданию новых онтологий, например, для белков, типов клеток, болезней и другие. Это развитие онтологий продолжается и по сей день с новой онтологией COVID-19. О влиянии BFO в немедицинских областях свидетельствует также принятие стандарта ISO/IEC 21838 в таких областях, как цифровое производство, в частности, благодаря созданию *Industrial Ontology Foundry* (IFO). Под эгидой этой организации продолжается работа по увязке BFO с текущими разработками по стандарту STEP (стандарт обмена данными модели продукта) (ISO 10303) и стандарту MTConnect для данных заводских устройств [«Industrial Ontology Foundry», 2020].

Другой SDO - это Группа управления объектами (OMG), наиболее известная благодаря унифицированному языку моделирования (UML) и архитектуре, управляемой моделями (MDA). Элиза Кендалл предоставила обновлённую информацию о стандартах OMG и деятельности, имеющих отношение к онтологиям и ГЗ [Kendall, 2020]. Специальная группа по онтологической платформе (OPSIG) является активной рабочей группой более 15 лет. К настоящему времени опубликованы следующие стандарты платформы: Метамодель определения онтологии (ODM); Язык распределённой онтологии, моделей и спецификаций (DOL); Языки, страны и коды (LCC); и преобразование MOF в RDF - MOF2RDF. Группа OMG также опубликовала несколько онтологий для конкретных предметных областей, в том числе бизнес-онтологию финансовой индустрии (FIBO), глобальный идентификатор финансовых инструментов (FIGI) и словарь политик обмена информацией (IEPPV). Онтология ро-

ботизированных сервисов в настоящее время готовится совместно с сообществом IEEE Robotics.

Другие стандарты, относящиеся к ГЗ, включают Модель и нотацию управления делами (СММН), Модель и нотацию решения (DMN), Словарь даты и времени (DTV), Представление производственных правил (PRR) и Семантику бизнес-словарей и правил (SBVR). Третьи находятся в стадии подготовки. Однако единого золотого стандарта для ГЗ не будет. Появятся несколько стандартов, которые необходимо будет разумно объединить.

Общая логика (CL) - это стандарт ISO/IEC для логики первого порядка (ISO/IEC 24707:2007). В статье «Графы знаний и логика» Джон Сова сделал обзор CL и связанных с ним стандартов логики [Sowa, 2020]. Стандарт CL включает спецификации для трех диалектов: формата обмена общей логикой (CLIF), формата обмена концептуальными графами (CGIF) и нотации на основе XML для общей логики (XCL). Диалект CLIP сочетает в себе лучшие черты двух диалектов, CLIF и CGIF. Основные цели проектирования CLIP следующие:

- возможность немедленного чтения любым, кто разбирается в исчислении предикатов;
- читается так же, как Turtle для подмножеств RDF и OWL;
- читаема, как любая нотация правил «если-то»;
- служить линеаризацией для широкого диапазона логик графов, включая диаграммы CG, EG, KG, RDF, OWL и UML;
- параметр запроса: выберите (список имен), где (любое предложение CLIP);
- поддержка сопоставлений между логикой и естественными языками (NL).

Упомянутый выше стандарт DOL является стандартом OMG для интеграции и взаимодействия между распределёнными онтологиями, моделями и спецификациями (OMS). DOL формально определяется логикой и математикой. Другими словами, DOL может интегрировать гетерогенные OMS, связывая логики, которые их определяют.

Индустрия финансовых услуг - это крайне большая, зрелая и требовательная к обработке данных отрасль, которая оказывает влияние практически на всех. Майкл Беннетт представил обзор ГЗ в финансовом секторе [Bennett, 2020]. Хотя большинство исторических стандартов в индустрии финансовых услуг касается требований к обмену сообщениями или форматам данных, существуют также отраслевые стандарты формальной семантики. Бизнес-онтология финансовой индустрии (FIBO) была задумана, чтобы обеспечить общий язык для этих стандартов обмена сообщениями, в то время как недавняя инициатива ISO TC68 (Технический комитет ISO, занимающийся финансовыми услугами) направлена на дополнение существующего стандарта обмена сообщениями XML ISO 20022 формальной семантикой. FIBO возникла из-за необходимости унифицировать термины в отрасли как общий язык для повторного использования данных в отчётности, управлении рисками и соблюдении нормативных требований. Эта потребность возникла из-за осознания того, что концепции были хорошо поняты несмотря на то, что было трудно достичь согласия по общим условиям.

Хотя финансовая индустрия является специфической областью, она даёт важные уроки, которые актуальны для онтологий и ГЗ в целом. Например, одно различие состоит в том, предоставлять ли глубокую иерархию фундаментально примитивных терминов, основанную на онтологии верхнего уровня (TLO), или нет. Обычно они не нужны для приложений OWL и были удалены из стандарта OMG FIBO. Другое различие состоит в том, представляет ли онтология реальных «творцов истины» (утверждения, которые порождают значение класса вещей) или данные о вещах. Например, *быть* банком значит обладать определёнными правоспособностью и возможностями, тогда как *знать, что что-то является* банком, - значит исследовать доступные данные для некой подходящей «подписи данных», что такие возможности существуют, в данном случае в форме лицензии банка. Поэтому онтологии могут

быть основополагающими для использования в качестве ориентира или могут быть ориентированы на приложения; и они могут быть основаны на предмете изучения или данных о предмете. Эти различия могут быть отклонены разработчиками как несущественные, но если их не учитывать, то в результате совместимость может быть серьёзно затруднена.

В «Стандартах и онтологиях» Михаэль Грюнингер обсудил преимущества и недостатки стандартизации онтологий [Gruninger, 2020]. Проблема со стандартами де-факто состоит в том, что онтологии будут приняты просто потому, что они популярны и широко используются, даже если они не были должным образом разработаны с достаточной оценкой и анализом. Риск этого подхода заключается в том, что могут использоваться онтологии, содержащие онтологические ошибки, непреднамеренные модели и пропущенные модели, или они могут включать неявные онтологические обязательства, предотвращающие повторное использование. Следовательно, нам нужны стандарты, которые позволяют оценивать и сравнивать онтологии. Прежде всего, это стандарты для языков представления онтологий с формальной семантикой, таких как *Common Logic* (ISO 24707) и *OWL (W3C)*. Во-вторых, стандарты для спецификации сопоставлений между онтологиями и между логиками, ярким примером которых является язык распределённых онтологий (DOL) от Группы управления объектами. Наконец, существуют стандартизированные аксиоматизации онтологий, в частности ISO 18629 (язык спецификации процессов) и ISO 21838 (онтологии верхнего уровня).

В области стандартов ещё предстоит проделать большую работу. Недавно Международная ассоциация по прикладным онтологиям (IAOA) учредила Технический комитет по промышленности и стандартам (ISTC). Этот комитет преследует две основные цели:

- содействовать использованию прикладной онтологии в инициативах по стандартизации,
- облегчить взаимодействие между людьми в промышленности и в прикладных онтологических исследованиях.

Деятельность комитета ISTC включает распространение информации об инициативах с целью созыва экспертов, заинтересованных в разработке онтологически обоснованных стандартов. Комитет также организует виртуальные и физические встречи и мероприятия, чтобы обсудить, как понять и применять онтологические подходы и методологии, как в целом, так и для систем ГЗ в частности.

6 Проблемы

Методы построения ГЗ ведут от сырых, беспорядочных и разрозненных данных, которые трудно запросить, анализировать и визуализировать, к более точному, организованному, улучшенному и связанному продукту, который легче визуализировать, запрашивать и анализировать. Проблемы существуют на каждом этапе этого процесса, включая рекурсии как часть жизненного цикла. В этом разделе перечислены некоторые из этих проблем. Первый столбец в таблице - это действие АГЗ. Эти действия помечены как «Шаг ГЗ», потому что они обычно представляют собой шаги в цепочке действий, как показано на рисунке 4.

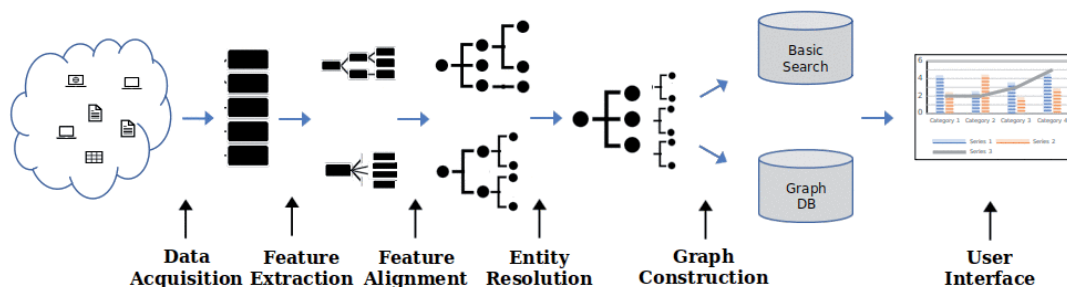


Рисунок 4 - Цепь построения ГЗ

Для каждого шага ГЗ может присутствовать много проблем. Наиболее важные из них перечислены во втором столбце таблицы. В следующем столбце описан контекст проблемы. В последнем столбце приведены ссылки. Более подробно об этих проблемах будет опубликовано в отдельной статье.

Таблица – Проблемы построения ГЗ

Шаг ГЗ	Проблема	Контекст	Заметки	Ссылки
Определение объёма	Выявление лучших доступных источников в огромном пространстве возможностей	Понимание требований к использованию и знаниям	Определение фактов о кандидатах, которые следует включить в ГЗ	[Pujara, Miao, Getoor, and Cohen, 2013]
Сбор данных и популяции	Объём, разнообразие, скорость и достоверность данных. Может быть слишком мало структурированных данных для заполнения графика	Объём необходимых данных может быть неизвестен. Метаданные домена и междоменные метаданные со временем развиваются.	Мы не будем знать все типы и отношения, необходимые для моделирования. Необходимо изучить окрестности сущностей и сравнить соседние сущности и значения.	[Dong, 2020]
Выделение признаков	Нужны зрелые процессы для поиска типов и создания векторных функций, используемых в модели машинного обучения. Ограниченные обучающие метки для больших объёмов данных. Часто скрытые шаблоны, например, в заголовках, несут в себе ключевые связи, атрибуты, даты и т. д.	Помимо технических проблем, есть ли необходимость в проверке выделения, чтобы понять, согласуются ли извлечённые функции с человеческим мнением?	Активное обучение, слабое обучение, дистанционное наблюдение вместе с полуконтролируемым обучением, трансферным обучением и мета-обучением - всё это методы для работы с ограниченными данными обучения. Менталистическая терминология функций может ввести в заблуждение тех, кто не занимается компьютерными науками. Важная информация также находится в изображениях, что затрудняет извлечение функций.	[Joshi, 2019; Dong et al, 2020; Wang, Xu, Li, Dong, Gao, 2020]
Выравнивание функций	Гетерогенные данные и большие пространства данных затрудняют согласование многих записей	Две функции одинаковы? Означают ли «родился» и «дата рождения» одно и то же?	Изучить избыточность данных. Находятся ли значения одного и того же атрибута в одном пространстве для встраивания?	[Pham, Alse, Knoblock, and Szekely, 2016; Taheriyani, Knoblock, Szekely, and Ambite, 2016]
Разрешение сущности	Проблемы с шумными данными и масштабирования. Используются альтернативные текстовые формулировки.	Не все данные заслуживают доверия и разнообразны. Данные и большие пространства данных требуют разрешения многих записей	Это большой вызов. Используются статистические методы и методы машинного обучения, но понимаем ли мы диапазон возможных ошибок, которые могут возникнуть в извлечённых фактах?	[Zhu et al, 2020]

Финальное построение графа. Этот шаг может включать новые ссылки и конфиденциальные сведения о фактах и связях	Рабочее решение может не масштабироваться до большего количества данных.	По мере добавления новых данных вводятся разные словари и разные шаблоны могут кодировать один и тот же атрибут.	Построение графа можно рассматривать как инкрементный процесс с окончательной сборкой, который может включать в себя проверку семантических отношений из ведущей онтологии.	[Madison, Barnhill, Napier, and Godin, 2015; Deprizio, 2020]
Пользовательские интерфейсы	Насколько гибки интерфейсы для пользователей? Можно ли легко визуализировать ГЗ при отображении отношений и связывания сущностей?	Предоставляется ли объяснение?	Разрешить клиентам указывать информацию и указывать, какое требование менее важно в рамках смягчения или уточнения запроса.	[He et al, 2019]
Рассуждение	Насколько хорошо АГЗ поддерживает временные и пространственные мышления?		См. раздел 4.3	[Davis, 2020]

7 Будущее графов знаний

Некоторые возможности будущего развития и использования ГЗ, в первую очередь в промышленности, но также и для исследовательского сообщества ГЗ:

- эффективное определение «граф знаний» будет широко распространено;
- разработчики ГЗ поймут необходимость хорошо продуманной схемы и то, как онтологии или, по крайней мере, онтологический анализ могут в этом помочь;
- разработчики ГЗ будут использовать лингвистический анализ, чтобы помочь преодолеть двусмысленность использования терминов (и идентификаторов) естественного языка;
- разработчики ГЗ будут включать формальные различия для предполагаемых интерпретаций терминов и фраз естественного языка, используемых для обозначений в ГЗ, вместо неудачной практики полагаться на предполагаемые общие интерпретации семантики таких терминов и фраз;
- ГЗ будут использоваться при создании и работе программно-интенсивных систем (например, для представления пользовательских интерфейсов);
- архитекторы информационных систем будут лучше использовать ГЗ и их инфраструктуру для поддержки более динамичных информационных систем;
- архитектуры будут разработаны, чтобы помочь предприятиям и их обширным информационным системам в переходе к использованию ГЗ;
- ГЗ окажут значительное влияние на управление данными и знаниями в целом.

8 Заключение

Графы знаний - эффективные инструменты для информационных систем и очень популярная тема, несмотря на отсутствие общего определения того, что же такое ГЗ. В этом комьюнике рассматривается понятие ГЗ и достигнут некоторый прогресс в уточнении краткого практического определения того, что такое ГЗ, которое не только сопоставимо с основными опубликованными определениями, но и проясняет источники путаницы вокруг этого понятия. Здесь представлены исторические тенденции, которые сошлись на ГЗ, и предложены некоторые из причин, почему ГЗ стали настолько популярными. Было описано несколько при-

меров методов, используемых АГЗ и разработанными СГЗ. В настоящее время существуют или разрабатываются стандарты, относящиеся к ГЗ. Несмотря на то, что ГЗ добились успеха, вопросы и проблемы ещё остаются.

9 Благодарность

В документе указаны некоторые коммерческие программные системы. Их упоминание не подразумевает рекомендации или одобрения Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) или организациями авторов или сторонников этого Коммюнике; это также не означает, что указанные продукты обязательно являются лучшими из имеющихся для этой цели. Кроме того, любые мнения, выводы или рекомендации, выраженные в этом материале, принадлежат авторам и не обязательно отражают точку зрения NIST или любых других организаций, поддерживаемых правительством США или другими корпорациями.

Мы хотим поблагодарить сообщество онтологов за поддержку, особенно приглашённых докладчиков и участников, которые внесли свой вклад в онтологический саммит. Приглашенных докладчиков было 22: Янс Аасман, Андреас Блюмауэр, Барри Смит, Эрнест Дэвис, Анируд Прабху, Саргур Шрихари, Спенсер Брейнер, Пако Натан, Винеи К. Чаудри, Кшиштоф Янович, Бинил Старли, Шон Гордон, Майкл Ушольд, Йоланда Гил, Мэтью Уэст, Чайтанья Бару, Лиза Карнахан, Элиза Кендалл, Майкл Грюнингер, Джон Ф. Сова, Майкл Беннетт и Элиза Стиклс. Полный список сессий, докладчиков и ссылки на слайды презентаций и видеозаписи доступны на <http://bit.ly/33NydJ9>.

Неполный список других участников включает: Кингсли Иден, Джанет Сингер, Дуг Фоксвог, Джек Ходжес-младший, Алекс Шкотин, Сджир Нейссен, Пол Тайсон, Майкл ДеБеллис, Эдвард Баркмейер, Азамат Абдуллаев, Амит Шет, Паскаль Хитцлер, Алессандро Олтрамари, Джек Парк, Джордж Херлберт, Рассел Райнш, Мария Евтимова и Брюс Баргмайер. Мы особенно благодарим Тодда Шнайдера за предложение темы ГЗ для онтологического саммита 2020.

References

- Aasman, J. (2019) Why Knowledge Graphs Hit the Hype Cycle and What they have in common. Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/34jSlmJ>.
- Aijal, J. (2019) What is a knowledge graph and how does one work? Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/2IwjVTu> and <https://thenextweb.com/podium/2019/06/11/what-is-a-knowledge-graph-and-how-does-one-work/>.
- Allen, R.H. & Sriram, D. (2000) The Role of Standards in Innovation, Special Issue on “Innovation: The Key to Progress in Technology and Society”, *Journal Technological Forecasting and Social Change*.
- Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Casanave, C., Fritzsche, D., Ring, J., Schneider, T., Sharma, R., Singer, J., Sowa, J., Sriram, R.D., Westerinen, A. & Whitten, D. (2018) *Ontology Summit 2018 Communiqué: Contexts in Context*, J. Applied Ontology, IOS Press.
- Baclawski, K., Futelle, R., Fridman, N. & Pescitelli, M. (1993) Database techniques for biological materials & methods. In *First Int. Conf. Intell. Sys. Molecular Biology* 21-28.
- Baclawski, K., Futelle, R., Hafner, C., Pescitelli, M., Fridman, N., Li, B. & Zou, C. (1993) Data/knowledge bases for biological papers and techniques. In *Proc. Sympos. Adv. Data Management for the Scientist and Engineer* 23-28.
- Baru, C. (2020) The Open Knowledge Network. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/31rSjbe>.
- Bennett, M. (2020) Standards for KGs in the Financial Sector. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2YXCdXw>.
- Bergman, M. (2019) A common sense view of knowledge graphs. Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/307PEBs> and <http://bit.ly/2RAbE6X>.
- Blumauer, A. (2014) From Taxonomies over Ontologies to Knowledge Graphs. Retrieved on August 1, 2020 from <https://blog.semantic-web.at/2014/07/15/from-taxonomies-over-ontologies-to-knowledgegraphs>.
- Breiner, S. (2020) Composing Knowledge Graphs, inside and out. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2QfatbQ>.
- Carnahan, L. (2020) The IT Standard Process. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/3gPkyYK>.
- Chaudhri, V. (2020) Textbook Open Knowledge Network. Chaudhri Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/310xXpd>.
- Davis, E. (2020) Time and Space in Knowledge Graphs. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2SxOVZ9>.
- Deprizio, J. (2020) Comparative Analysis of Database Spatial Technologies (CADST). Dissertation. George Mason University.
- Dong, L. (2020) Knowledge Graph and Machine Learning: A Natural Synergy, Presentation at Stanford Seminar on KGs. Stanford University.

- Dong, X., He, X., Kan, A., Li, X., Liang, Y., Ma, J., Xu, Y., Zhang, C., Zhao, T., Saldana, G., Deshpande, S., Manduca, A., Ren, J., Singh, S., Xiao, F., Chang, H.-S., Karamanolakis, G., Mao, Y., Wang, Y., Faloutsos, C., McCallum, A. & Han, J. (2020) AutoKnow: Self-driving knowledge collection for products of thousands of types, SigKDD 2020.
- Färber, M., Ell, B., Menne, C., Rettinger, A., & Bartscherer, F. (2018) Linked Data Quality of DBpedia, Freebase, OpenCyc, Wikidata, and YAGO. *Semantic Web Journal* 9 (1), 77-129.
- Gil, Y. (2020) Seven Ontologies for Publishing the Scientific Record on the Web. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2yHUuO4>.
- Gordon, S. (2020) Prototyping an Open Knowledge Network for Spatial Decision Support. Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/2Kquljr>.
- Grüninger, M. (2020) Standards and Ontologies. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2AykuMf>.
- He, X., Zhang, R., Rizvi, R., Vasilakes, J., Yang, X., Guo, Y., He, Z., Prosperi, M., Huo, J., Alpert, J. & Bian, J. (2019) ALOHA: developing an interactive graph-based visualization for dietary supplement knowledge graph through user-centered design. *BMC medical informatics and decision making* 19.4
- "Industrial Ontology Foundry" (2020) Retrieved December 1, 2020 from <https://www.industrialontologies.org/>
- Janowicz, K. (2020) KnowWhereGraph: Enriching and Linking Cross-Domain Knowledge Graphs using Spatially-Explicit AI Technologies to Address Pressing Challenges at the Human-Environment Nexus. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2xmMSQd>.
- Joshi, P. (2019) Learn How to Perform Feature Extraction from Graphs using DeepWalk. Retrieved December 1, 2020 from <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/11/graph-feature-extractiondeepwalk/>.
- Kendall, E. (2020) The Object Management Group. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/3f1SLc0>.
- Krötzsch, M. & Thost, V. (2016) Ontologies for knowledge graphs: Breaking the rules. In *International Semantic Web Conference*. Springer, Cham.
- Liebmann, L. (2020) 3 reasons why DataOps is essential for big data success. In *IBM Big Data & Analytics Hub*. Retrieved October 28, 2020 from <https://www.ibmbigdatahub.com/blog/3-reasons-whydataops-essential-big-data-success>.
- Madison, M., Barnhill, M., Napier, C. & Godin, J. (2015) NoSQL database technologies. *Journal of International Technology and Information Management* 24.1.
- Nathan, P. (2020) Rich Context Knowledge Graphs. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2TwytYO>.
- Paulheim, H. (2017) Knowledge Graph Refinement: A Survey of Approaches and Evaluation Methods. *Semantic Web Journal* 8(3):489-508.
- Pham, M., Alse, S., Knoblock, C. & Szekely, P. (2016) Semantic labeling: a domain-independent approach. In *International Semantic Web Conference*. Springer, Cham.
- Prabhu, A. (2020) Insights from Knowledge Graphs. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/3a9Niax>.
- Pujara, J., Miao, H., Getoor, L., and Cohen, W. (2013) Knowledge Graph Identification. In *Proceedings of the 12th International Semantic Web Conference - Part I, ISWC'13*, pages 542-557, New York, NY, USA.
- Rohrseitz, N. (2019) Knowledge Graphs and Machine Learning: A powerful combination for the semiautomatic generation of insights. Retrieved on December 1, 2020 from <https://towardsdatascience.com/knowledge-graphs-and-machine-learning-3939b504c7bc> and <http://bit.ly/2ZWVmqa>.
- "Semantic Network" (2020) Retrieved November 2, 2020 from <https://bit.ly/36qXdct>.
- Smith, B. (2020) From BFO to IOF to ISO/IEC 21838. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2zY2Otx>.
- Sowa, J. (2020) Knowledge Graphs and Logic. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2LkvpEN>.
- Srihari, S. (2020) Probabilistic Knowledge Graphs. Retrieved on December 1, 2020 from <http://bit.ly/36zrva9>.
- Starly, B. (2020) Building an Open Knowledge Network Graph in Product Design and Manufacturing. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2Xna2Ay>.
- Taheriyani, M., Knoblock, C., Szekely, P. & Ambite, J. (2016) Leveraging Linked Data to Discover Semantic Relations Within Data Sources. In *International Semantic Web Conference*. Springer, Cham.
- Wang, Y., Xu, Y., Li, X., Dong, X., Gao, J. (2020) Automatic validation of textual attribute values in eCommerce Catalog by learning with limited labeled data. In *KDD'20*.
- West, M. (2020) The Digital Twin Project in the UK. Retrieved on December 1, 2020 from <https://go.aws/2HdGBYr>.
- Yuan, W., Zhang, K., Dai, Q., Peng, C. & Zhao, K. (2018) Construction and Application of Knowledge Graph in Full-service Unified Data Center of Electric Power System. In *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 452 032065.
- Zhu, Q., Wei, H., Sisman, B., Zheng, D., Faloutsos, C., Dong, X. & Han, J. (2020) Collective multitype entity alignment between knowledge graphs. In *WebConf 2020*.

10 лет журналу «Онтология проектирования»

10th Anniversary of the Scientific Journal «Ontology of Designing»

На мраморных ступенях кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва расположились все вышедшие номера нашего журнала «Онтология проектирования» от нулевого и 1-го номера на нижних ступенях, до номеров 10-го юбилейного тома «гринфилдовского» цвета. Здесь нет только 4 номера 10-го тома, который



только что вышел в свет и его уже можно держать в руках, читать на экране компьютера. Журнал и мы, его учредители, редакция, авторы, рецензенты, читатели прошли вместе важный этап взросления и готовы перейти на новую ступень к вершинам знаний! *Будьте здоровы и будьте с нами!*

В таблице приведены сведения о количестве статей, авторов, организаций, городов и стран, представляющих авторов, по номерам журнала.

ТОМ	Номер	Кол-во статей	Кол-во авторов	Кол-во организаций	Кол-во городов	Кол-во стран
10	38	8	20	12	10	1
	37	10	24	13	6	1
	36	7	10	8	7	1
	35	10	24	12	11	3
9	34	9	15	11	10	1
	33	7	16	6	4	1
	32	9	17	13	5	2
	31	10	24	15	9	5
8	30	10	33	16	12	3
	29	9	24	14	9	3
	28	9	17	11	8	1
	27	10	24	13	7	2
7	26	10	21	16	7	2
	25	8	14	9	5	1
	24	7	17	9	6	2
6	23	7	15	8	6	1
	22	10	16	9	8	1
	21	11	22	13	10	1
	20	8	17	11	7	1
5	19	8	12	10	8	1
	18	8	19	11	6	1
	17	6	10	8	5	2
	16	6	10	7	5	2
4	15	7	12	9	5	1
	14	8	13	7	6	3
	13	6	11	7	6	2
	12	6	13	8	3	3
3	11	5	10	7	4	2
	10	7	10	7	6	1
	9	7	12	7	6	3
	8	6	11	6	3	2
2	7	6	10	8	5	3
	6	7	25	7	5	1
	5	5	8	3	3	1
	4	5	6	5	2	1
1	3	7	11	8	6	1
	2	7	10	7	6	2
Среднее		8	16	9	6	2
0	1	1	2	2	1	1

Индекс 29151

10-й юбилейный том



С сентября 2011 выпущено 10 томов (38 номеров) журнала.

В 4-х номерах 10-го тома журнала опубликовано 35 статей 74-х авторов из более 40 организаций и 30 городов России, Чехии, Великобритании.



 **ADVANCED SCIENCE INDEX**
ADVANCED SCIENCES INDEX CENTRAL EUROPEAN SCIENCE ARCHIVE AND EVALUATION

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