Ontology of Designing

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

Онтология проектирования

Vol 12
N 2
2022

Научный журнал - Scientific journal

Ontology of Designing - vol 12, N 2, 2022 - Онтология проектирования

Ontology of Designing
Ontologiâ proektirovaniâ (Ontol. proekt.)

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

Scientific journal

Volume 12

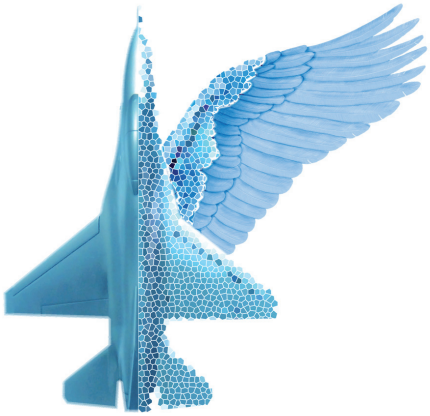
N 2

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 12

№ 2



2022

Индекс - 29151
Издаётся с 2011 года, 4 номера в год.
The journal has been published since 2011, quarterly.

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
том 12 № **2,** 2022

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

Editorial Board - Редакционная коллегия

Nikolay M. **Borgest***, Ph.D., Associate Professor, Samara University, Member of IAOA, AAAI. Samara, Russia
Stanislav N. **Vasiliev***, Doctor of Phys. and Math. Sciences, Professor, Academician of RAS, ICS 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, Corresponding Member of RAS, 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
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
Venedikt S. **Kuzmichev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
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 Republic
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, Academician 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 RAS, Moscow
George **Rzevski**, Professor, Open University, London, UK
Peter O. **Skobelev***, Doctor of Technical Sciences, «Smart solutions» Scientific Production C., 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

Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., доцент, Самарский университет, член IAOA, AAAI. 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., член-корреспондент РАН, г.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
Загорулько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия
Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Крейнович Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо, США
Кузьмичев Венедикт Степанович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
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, Республика 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, академик 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

* - 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), **0.92** (2014), **1.35** (2015), **1.07** (2016), **1.00** (2017), **1.17** (2018), **0,87** (2019), **1,09** (2020).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-70157 от 16.06.2017 г. (ранее выданное свидетельство ПИ № ФС77-46447 от 07.09.2011 г.)

© Самарский университет, Samara University, 2015-2022; © ИПУСС РАН - СамНЦ РАН, ICCS RAS, 2015-2022; © ООО «Новая техника», «New Engineering» Ltd., 2011-2022.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Новые онтологические стандарты **133-135**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Н.М. Боргест **136-157**
Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Н.О. Дородных, О.А. Николайчук, А.Ю. Юрин **158-171**
Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники

В.В. Грибова, В.О. Стрекалёв **172-185**
Комплекс онтологий для виртуальных тренажеров с биологической обратной связью

И.О. Датьев, А.М. Федоров **186-199**
Аддитивная регуляризация при тематическом моделировании текстов сообществ онлайновых социальных сетей

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

В.В. Грибова, С.В. Паршкова, Л.А. Федорищев **200-217**
Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний

О.Г. Берестнева, И.А. Лызин, А.А. Тихомиров, М.В. Корняков, Г. Джафари, С.В. Дуга, Э.К. Куулар, А.И. Труфанов, Л.А. Петрова **218-230**
Сетевая концепция метадисциплинарной платформы конструирования множественных реальных и виртуальных миров

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Т.А. Пищухина **231-244**
Проектирование СППР на основе онтологии перекомпонуемого производства

А.В. Потапова **245-262**
Применение миварного подхода при создании систем поддержки принятия решений для сферы государственных услуг

А.В. Киселёв, Н.И. Юсупова **263-268**
Поддержка принятия решения при выборе метода глобального освещения на основе кроссплатформенного приложения

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/**.

Контент журнала распространяется по лицензии CC-BY 4.0 (Creative Commons Attribution 4.0 International License).

Контакты учредителей

ФИЦ Самарский научный центр РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smirnov@iccs.ru.
Самарский университет: 443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, тел.: +7 (846) 267 46 47, 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 4.07.2022. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

New ontological standards **133-135**

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

N.M. Borgest **136-157**
Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

N.O. Dorodnykh, O.A. Nikolaychuk, A.Yu. Yurin **158-171**
Using ontological content patterns in knowledge base engineering for maintenance and repair of aviation equipment

V.V. Gribova, V.O. Strekalev **172-185**
Complex of ontologies for virtual simulators with biofeedback

I.O. Datyev, A.M. Fedorov **186-199**
Additive regularization for topic modeling of social media communities

ONTOLOGY ENGINEERING

V.V. Gribova, S.V. Parshkova, L.A. Fedorischev **200-217**
Ontologies for development and generation adaptive user interfaces for knowledge base editors

O.G. Berestneva, I.A. Lyzin, A.A. Tikhomirov, M.V.Korniakov , G.Jafari, S.V. Duga, E.K. Kuular, A.I. Trufanov, L.A. Petrova **218-230**
Network concept of a metadisciplinary platform for constructing multiple real and virtual worlds

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

T.A. Pishchukhina **231-244**
Designing a decision support system scheme based on the ontology of recomposable manufacturing

A.V. Potapova **245-262**
Application of the mivar approach in creation of decision support systems for public services

A.V. Kiselyov, N.I. Yusupova **263-268**
Decision support when choosing a global illumination method based on a cross-platform application

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/**.

The content of the scientific journal is distributed under a license **CC-BY 4.0**
(Creative Commons Attribution 4.0 International License)

Contacts of the Founders

Samara Scientific Center of the RAS: 61, Sadovaya st., Samara, 443020, Russia. Tel.: +7 (846) 333 27 70, S.V. Smirnov, smirnov@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

Новые онтологические стандарты
New ontological standards

«Стандарты представляют собой согласованную на основе консенсуса точку зрения ведущих экспертов в различных областях … и позволяют осуществлять обмен инновациями во всем мире, предоставляя… надёжную основу **для осуществления положительных изменений**….»

Из обращения глав МЭК, ИСО и МСЭ
к Всемирному дню стандартов, 2013 год

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

Мир изменяется, мир усложняется, мир ускоряется. Изменяются сущности, их атрибуты, отношения, принципы и критерии, их формирующие, процессы, которые происходят в обществе, науке, экономике и политике. В эпиграфе отмечается, что стандарты нужны для *положительных изменений*. И хорошо, что они есть! Есть стандарты как документы, нормирующие лучшие практики, есть позитивные примеры, есть люди, которые служат примером и демонстрируют лучшие практики своей деятельностью.

Новиков Дмитрий Александрович, академик РАН

Грибова Валерия Викторовна, член-корреспондент РАН

Мы искренне поздравляем наших коллег, членов нашей редакционной коллегии ***Новикова*** *Дмитрия Александровича* и ***Грибову*** *Валерию Викторовну*, которые 2 июня 2022 года избраны Общим собранием членов Российской академии наук (РАН) соответственно академиком РАН и членом-корреспондентом РАН[1]. *Дмитрий Александрович* избран по Отделению энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН (специальность «процессы управления»), *Валерия Викторовна* - по Отделению нанотехнологий и информационных технологий РАН Дальневосточного отделения РАН (специальность «искусственный интеллект»). Указанные специальности полностью соответствуют профилю нашего журнала, который всегда позиционировался как журнал по информатике и инженерии с уклоном в области формализации и автоматизации проектных практик, в области искусственного интеллекта (ИИ).

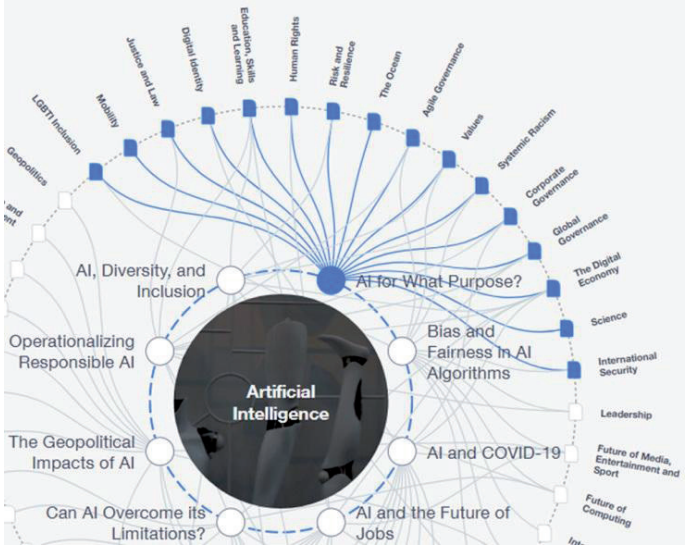
Заслуженная высокая оценка коллег по цеху соответствует высокому качеству исследовательских работ наших товарищей и, безусловно, является ориентиром, и в конечном итоге СТАНДАРТОМ для тех, кто связал и желает связать свою жизнь с наукой.

Также демократично и на альтернативной основе проходят в июне 2022 года выборы[2] Исполнительного совета Ассоциация содействия развитию ИИ (*AAAI, Association for the Advancement of Artificial Intelligence*). Почти все участники этого выборного процесса в своих заявлениях выражают озабоченность этическими вопросами при разработке и применении

[1]ВЫБОРЫ-2022. http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=324a4904-27bb-47cf-bc52-9a683ddab842.
[2]2022 AAAI President-Elect Candidate Statements. https://www.aaai.org/Organization/2022-ballot.pdf.

ИИ, необходимости демистификации систем ИИ. Достижения в области систем ИИ в последние годы привели к значительной шумихе вокруг того, что ИИ может и чего не может делать. По мнению зарубежных коллег, *AAAI* должна играть ведущую роль по обе стороны этой шумихи: с одной стороны, управлять ожиданиями относительно того, что возможно в краткосрочной перспективе, чтобы обеспечить дальнейший успех, а с другой - оказывать содействие инвестициям в исследовательские программы для разработки действительно интеллектуальных систем. Подобную роль в нашей стране могла бы и стремится взять на себя Российская ассоциация искусственного интеллекта (РАИИ).

О мистификации понятия «ИИ» 17 июня 2022 года на мероприятии «Интеллект: искусственный *vs* естественный» в рамках деловой программы говорили и участники 25-го Петербургского международного экономического форума[3]. Среди приглашенных был и Президент РАИИ проф. В.В. Борисов.



Artificial Intelligence: AI for What Purpose?
© 2022 World Economic Forum

На Всемирном экономическом форуме (ВЭФ) как глобальная проблема рассматривается ИИ и его цели[4] (см. рисунок слева), в т.ч. вопрос о том, не следует ли запретить некоторые приложения этой технологии. В то время как современные алгоритмы ИИ могут быть ограничены решением одной задачи, основные принципы и методы технологии применимы к широкому спектру задач. ИИ затронул почти каждый сектор экономики и все стороны жизни общества. Необходимо учитывать высокий риск потенциально неправильного, наносящего вред, использования систем ИИ. Распознавание лиц, например, является одной из областей ИИ, которая стала предметом особенно пристального общественного внимания из-за проблем с конфиденциальностью и из-за возможного использования технологии в качестве инструмента подавления. Проблемы с ИИ связаны не с технологией в целом, а с её конкретным использованием. Остаётся острым вопрос ограниченных кадровых ресурсов[4].

Эксперты ВЭФ оценили текущее состояние 15 глобальных областей риска и международных усилий по их снижению[5]. Оценки риска в области ИИ (например, автономное оружие, предвзятость) относительно других областей находятся в начальной стадии. Хотя очевидно, что уже в ближайшие годы эти риски будут сопоставимы с рисками уже созданного оружия массового поражения. И опасения этическими вопросами создания и применения ИИ здесь не напрасны…

В онтологии сущности, их атрибуты и отношения – это почти всегда фрагменты в пространственно-временном континууме, это синтез выделяемых фрагментов, это наша модель предметной области (ПрО), необходимая нам для её познания, коммуникации, для трансляции накапливаемых знаний. Именно поэтому важно иметь представление об общих сущностях, иметь обобщения высшего порядка.

[3]Деловая программа 25 ПМЭФ. https://forumspb.com/programme/business-programme/97198/.
[4]Global Issue. Artificial Intelligence: AI for What Purpose? Curation: Desautels Faculty of Management, McGill University. https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDREA2/key-issues/a1Gb00000015QOGEA2.
[5] The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum. 117 p. ISBN: 978-2-940631-09-4.

В конце апреля текущего года были введены в действие новые онтологические стандарты, описывающие требования[6] к онтологии высшего уровня и базисную формальную онтологию (*BFO*)[7]. *BFO* содержит определения терминов , выражений отношения и их формализации. Основная цель *BFO* — поддерживать разработку онтологий ПрО, способствовать координации работы различных групп специалистов, добиваться непротиворечивости и предотвращать избыточность онтологий. Стандарты разработаны для поддержки функциональной совместимости информационных систем. *BFO* нейтральна к ПрО и содержит только термины, представляющие категории высокой степени обобщения, такие как объект, качество, процесс, пространственная и временная область, которые относятся ко всем ПрО реальности.

Стандарт описывает новую версию базовой формальной онтологии — *BFO* 2020. Ключевые сущности в *BFO* – это континуант и оккурент.

Континуант (*continuant*) – сущность, которая существует всецело всегда, продолжает существовать во времени, пока сохраняет идентичность, и не имеет временных частей. Оккурент (*occurent*) – сущность, которая имеет временные части и, случается, разворачивается и развивается во времени. Иногда также называется длящейся сущностью[8].

Отрадно, что в целях усиления роли науки и технологий в решении важнейших задач развития общества и страны, учитывая результаты, достигнутые в ходе проведения в России Года науки и технологий в 2021 году, следующее десятилетие – 2022-2031 годы – объявляется *Десятилетием науки и технологий*[9] в Российской Федерации.

В номере

В этом номере журнала статьи авторов из Апатитов, Владивостока, Инчеона (Республика Корея), Иркутска, Оренбурга, Орехово-Зуево, Самары, Санкт-Петербурга, Томска и Уфы, которые представляют 15 ведущих университетов и академических институтов страны.

В рамках новой номенклатуры научных специальностей редакция журнала направила в ВАК свои предложения по изменению в профиле журнала состава научных специальностей, добавив к существующим новые специальности: 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические); 2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования (технические); 2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические); 2.5.1. Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий (технические); 5.12.4. Когнитивное моделирование (философские и технические науки).

Открывает этот номер журнала статья, посвященная в т.ч. объективно нерешаемой проблеме классификации эволюционирующей науки. Наш журнал по-прежнему остаётся местом для научных дискуссий.

Призываем авторов и читателей включиться в развитие публикуемых идей.

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

---

[6]ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (*TLO*). Часть 1. Требования. *Information technology. Top-level ontologies* (*TLO*). *Part 1. Requirements*. Дата введения 2022-04-30.

[7]ГОСТ Р 59798-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (*TLO*). Часть 2. Базисная формальная онтология (*BFO*). *Information technology. Top-level ontologies* (*TLO*). *Part 1. Basic Formal Ontology* (*BFO*). Дата введения 2022-04-30.

[8]*Лобанов Г.Ю*. Basic Formal Ontology как средство построения онтологии в системной модели аргументации // РАЦИО.ru. 2013. № 11. С. 126-143.

[9]Указ Президента Российской Федерации № 231 от 25 апреля 2022 года «Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий».- http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204250022?index=0&rangeSize=1.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.8:001 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157

Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры

© 2022, 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

В статье представлен авторский взгляд на онтологию научного направления и онтологию проектирования научного направления, который обсуждался на научном семинаре «Онтология проектирования» в феврале 2021 года. Очередная смена классификации научных дисциплин, представленная Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и последовавшая за этим перестройка квалификационной структуры российской науки определили актуальность темы, затрагиваемой в статье. Делается попытка проанализировать - что есть, что включают и из чего состоят научные: достижения, направления, дисциплины, проблемы, научно-обоснованные решения; являются ли эти термины понятиями, каковы их определения и атрибутированы ли они, есть ли согласие по их содержанию в научном сообществе. Основной целью исследования было определить понятие «научное направление», выявить и обосновать его атрибуты, привести примеры научных направлений. Показано, что эволюция научного знания включает в себя разные стадии жизненного цикла научных дисциплин, степень зрелости которых хорошо коррелирует с кривой Гартнера. Основными атрибутами понятия «научное направление», по мнению автора, являются его: истоки, ключевые термины, научный базис, границы, механизм формирования и ожидаемый эффект от его развития. Наличие этих атрибутов в разной степени разработанности позволяет утверждать о сформированном научном направлении, а отсутствие хотя бы одного атрибута говорит лишь о фрагментарном поиске своего пути в науке. Для квалификационной оценки разработчика научного направления требуется подтверждение участия в формировании научного направления, т.е. наличия у исследователя личностного опыта и вклада в это направление. В качестве примеров рассмотрены научные направления, сформированные в Самарском университете, в частности, «Компьютерная оптика» и «Онтология проектирования».

Ключевые слова: *системный анализ, классификация науки, научная дисциплина, научное направление, научная специальность, онтология, онтология проектирования.*

Цитирование: *Боргест Н.М.* Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.

Благодарности: автор выражает признательность членам редколлегии, читателям и авторам журнала «Онтология проектирования» за активное участие и поддержку в разработке научного направления «Онтология проектирования».

Финансирование: финансовую поддержку разработке научного направления «Онтология проектирования» на разных этапах его формирования оказывали: Самарский университет, ИПУСС РАН и ООО «Новая техника».

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

«Товарищи, бросим замашки торгашьи
- моя, мол, поэзия - мой лабаз! -
Всё, что я сделал, всё это ваше -
рифмы, темы, дикция, бас!
Что может быть капризней славы и пепельней?
В гроб, что ли, брать, когда умру?
Наплевать мне, товарищи, в высшей степени
на деньги, на славу и на прочую муру!
Чем нам делить поэтическую власть,
сгрудим нежность слов и слова-бичи,
и давайте без завистей и без фамилий класть
в коммунову стройку слова-кирпичи…»
Маяковский В.В. Послание пролетарским поэтам, 1926 г.

«Люди не способны понять, что их личное счастье зависит от гармонии с окружающим миром. Они постоянно стремятся доказать свое превосходство над другими. Им необходимо соревнование. А в соревновании всегда есть победители и проигравшие»
Бернар Вербер. Дыхание богов, 2005 г. [1]

Введение

Призыв В.В. Маяковского к поэтам близок и тем, кто бескорыстно трудится на поприще современной науки. Это было характерно для ранних философских школ [2], имеет место и в новых реалиях. Создание научной школы (НШ), научного направления (НН), пестование и выращивание учеников, продвижение и углубление знаний в выбранном направлении, актуализация и адаптация знаний к нуждам общества, формирование механизма перманентного обсуждения и фиксации накопленных знаний, и здесь же стоит вопрос о квалификационной оценке тех, кто сотворил используемое обществом ЗНАНИЕ!..

Стремление к знаниям, к обладанию ими, которое проявляется в констатации первенства в открытии новых законов природы, новых закономерностей, новых теорий, и, в итоге, признания приоритета в науке – врождённое чувство, характерное для *homo sapiens,* для творчески ориентированной, эволюционно развивающейся личности. Научное сообщество, состоящее из этих увлечённых своими идеями людей, рассматривает науку как деятельность, направленную на выработку объективных, системно организованных и обоснованных знаний о мире [3]. При этом свободное распространение добытых знаний не всегда возможно и не всегда оправданно. Одни его обладатели рассматривают его как товар, пытаясь извлечь выгоду, продавая знания, и здесь конкуренция знаний и их носителей типична для рыночной экономики. Другие щедро делятся знаниями (см. эпиграф В.В. Маяковского), получая удовлетворение от их продвижения и развития, соревнуясь в качестве его трансляции, в создании всегда лишь временно устойчивых научных связей и направлений.

«Мы должны признать очевидное: понимают лишь те, кто хочет понять» - именно этой фразой, приписываемой французскому философу Бернару Верберу [1], начинался совместный научный семинар «Онтология проектирования»[1], который проходил в феврале 2021 года в Самарском университете с участием коллег из ИПУСС РАН, Уфимского государственного авиационного технического университета и других организаций. На этом семинаре рассматривался вопрос об онтологии НН, где в качестве примера обсуждалась онтология проектирования, как научная дисциплина (НД). Данная статья – это развёрнутое изложение представ-

[1] Самарский университет и ИПУСС РАН приглашают на семинар "Онтология проектирования". 01.02,2021 - https://ssau.ru/news/18814-samarskiy-universitet-i-ipuss-ran-priglashayut-na-seminar-ontologiya-proektirovaniya. «Онтология научного направления: формирование, развитие, примеры». Докладчик: Боргест Н.М., профессор кафедры КиПЛА, с.н.с. ИПУСС РАН. https://www.ontology-of-designing.ru/ 4-февраля-2021-года-16-00/.

ленного доклада с учётом замечаний и пожеланий, которые поступили во время семинара, анализа новой номенклатуры научных специальностей (НС) в России, НН и НШ в Самарском университете, а также развитие опубликованного материала о личностном опыте автора в разрабатываемом НН [4].

1 Эволюция классификации научных дисциплин

Важным мотивом написания данной статьи явилась очередная смена классификации НД, представленная Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [5], и последовавшая за этим перестройка квалификационной структуры российской науки. Обновление номенклатуры НС – это *естественный и необходимый процесс*, устанавливающий на определённом временном отрезке вектор развития науки, появление новых, трансформацию уже сложившихся НД. В историческом смысле говорить об отмирании, устаревании знаний было бы неправильно, тем более по отношению к их авторам. На определённом этапе цивилизационного развития эти знания давали возможность представить, описать и объяснить наблюдаемые явления и процессы, были платформой для формирования новых теорий, которые показали свою состоятельность уже на следующем этапе познания мироздания. И крылатая фраза Исаака Ньютона: «Если я и видел дальше, то только стоя на плечах гигантов» [6], говорит именно об этом.

Важно учесть не только прошлый опыт, но и предыдущие классификации науки, попытаться по возможности сохранить преемственность (в т.ч. терминологическую, понятийную), не допускать дисциплинарных разрывов, и, расширяя горизонты науки, стремиться увязывать новые знания, новые взгляды с уже сложившимися представлениями. Рекомендации Президиума ВАК о сопряжении новых и прежних НС с небольшим опозданием и не в полной мере ликвидируют этот пробел [7]. Однако эволюция научного знания предполагает развитие т.н. «стыковых зон», где могут быть наиболее продуктивны результаты исследований и где появляются новые ветки развития наук, которые вбирают в себя знания из различных НН. Сопряжение в данном случае по определению не может полностью покрывать прежнюю классификацию наук. Поэтому требования ВАК к научным журналам, развивающим новые НН, по количеству групп НС и НС не всегда оправдано в силу дискуссионной дифференциации эволюционирующей науки. Здесь, думается, надо доверять научному сообществу, сформировавшему и развивающему в журнале своё НН, например, как это сделано для ведущих университетов, самостоятельно формирующих состав диссертационных советов и выносящих окончательное заключение о квалификации работ, представляемых соискателями в эти советы.

Развитие НН «Искусственный интеллект» (ИИ) наконец-то нашло отражение в российской официальной науке[2]. Так, в группе НС «Компьютерные науки и информатика» появилась специальность «Искусственный интеллект и машинное обучение» [5]. Однако появление этой группы НС в естественных науках в данной номенклатуре во многом дублирует ряд групп НС в области технических наук, особенно в группе «Информационные технологии и телекоммуникации». С одной стороны, это говорит о расширении научного поиска в другие области, а, с другой стороны, об идущих интеграционных процессах научной мысли и пересечениях областей наук, в данном случае естественной и технической.

К сожалению, у некоторой части молодого поколения исследователей, занимающихся машинным обучением (МО), сложилось мнение, что МО и есть ИИ. Однако для специалистов, давно занимающихся ИИ, хорошо известно понятие символьного ИИ, который основан на формализации знаний человека о предметной области (ПрО), о терминах и понятиях, о

[2] В прежней номенклатуре научных специальностей ИИ отсутствовал. Приказ Минобрнауки РФ от 23.10.2017. N 1027.

сущностях и процессах в ней (см. например [8, 9]). К этому же символьному направлению ИИ можно отнести и работы по созданию систем автоматизации различных процессов, в т.ч. и системы автоматизации проектирования (см. например [10]). До появления МО именно специалисты по системам автоматизации шли в авангарде работ над системами с ИИ. Это работы академиков СССР В.М. Глушкова, Г.С. Поспелова, проф. Д.А. Поспелова и мн.др.

Символьный ИИ и МО - это два крыла ИИ, который «относится к автоматизированным машинным технологиям, обладающим хотя бы некоторой способностью к самоуправлению, которые могут для заданного набора целей, определённых человеком, делать прогнозы, рекомендации или решения, влияющие на реальную или виртуальную среду» [11]. В то время как «МО — это лишь подмножество ИИ. Системы МО получают входные данные в виде обучающих данных, а затем генерируют правила, которые создают выходные данные. Системы МО «учатся» на примерах, предоставленных в виде обучающих данных, а не получают явное программирование от людей. В последние годы растущая доступность очень больших наборов данных, развитие доступных вычислительных мощностей и другие технические достижения сделали МО полезным и многообещающим для различных приложений» [12].

Новая НС «Искусственный интеллект и машинное обучение» в группе НС «Компьютерные науки и информатика» в новой классификации расположена в области естественных наук между группами «Математика и механика» и «Физические науки». Следует полагать, что положение новой НС по ИИ и МО ориентирует отнесение к ней результатов исследований, получаемых с помощью математического моделирования, численных методов и машинной обработки данных. В то время как место символьного ИИ в новой классификации - в группе НС «Информационные технологии и телекоммуникации» в технических науках. Результаты исследований символьного ИИ могут быть представлены (отнесены) как и прежде в НС «Системный анализ, управление и обработка информации», а также в НС «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования», «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», «Информатика и информационные процессы».

Разработчики новой номенклатуры НС дальнейшее развитие НС «Системы автоматизации проектирования» нашли в уже упомянутой специальности «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования», а также в других тематических группах технических наук. Так, в группе НС «Строительство и архитектура» — в НС «Управление жизненным циклом объектов строительства», в группе «Машиностроение» — в НС «Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий», в группе «Транспортные системы» — в НС «Интеллектуальные транспортные системы» и «Логистические транспортные системы» [7].

В новой номенклатуре в социальных и гуманитарных науках отрадно появление новой группы НС «Когнитивные науки». В этой группе пересечение знаний в естественных, технических и социально-гуманитарных науках объединяет философов, психологов, биологов, медиков, филологов, математиков, физиков и инженеров. В этой группе новая НС «Когнитивное моделирование» связывает интересы учёных из отраслей философских, физико-математических и технических наук, что очень близко тем, кто работает в НН «Онтология проектирования».

Анализ новой номенклатуры НС показал доминирование технических и физико-математических специальностей, что отражает потребность в детализации и углублении знаний, необходимых для преобразования среды обитания, создания артефактов, описания действительности (см. рисунок 1). Следующими по количеству НС идут медицинские, биологические и химические специальности, что также свидетельствует о цивилизационной потребности углубления знаний в этих областях.

Стоит считать ошибочной появление уникальной отрасли наук «Культурологические», которая лишь однажды заявлена в группе НС «Исторические науки» в НС «Документалистика, документоведение, архивоведение». При том, что есть идентичная отрасль науки «Культурология», которая присутствует в группе НС «Искусствоведение и культурология». Думается, что и «Теология» могла бы органично войти в отрасль науки «Культурология», сократив чрезмерное количество научных отраслей в этой общей классификации.

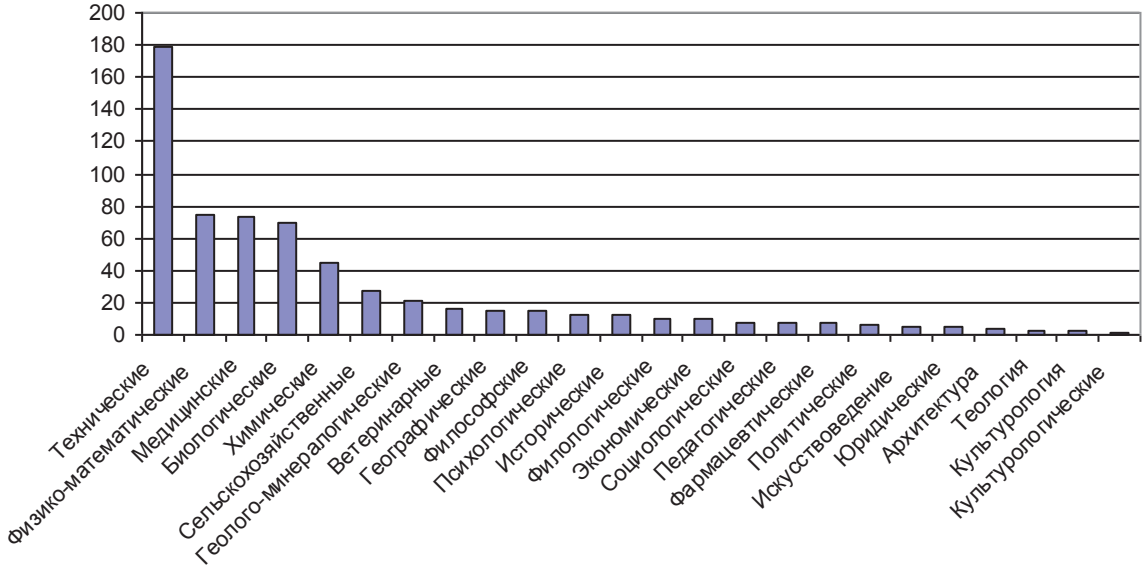


Рисунок 1 – Количество научных специальностей по научным отраслям (согласно [5])

Распределение НС по научным областям в новой классификации показано на рисунке 2. Здесь нет явного доминирования, но первенство остаётся за техническими и естественными науками. Медицинские НС при этом уступили социальным и гуманитарным НС. Замыкает картину по количеству НС область сельскохозяйственных наук.

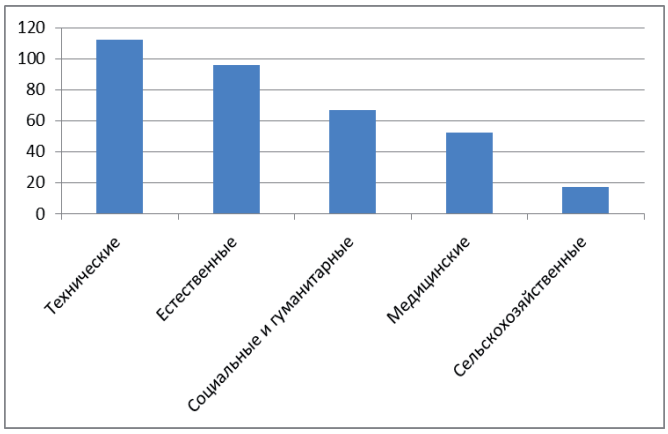


Рисунок 2 – Количество научных специальностей по областям науки (согласно [5])

При том, что количество НС в области сельскохозяйственных наук минимальное, удивительно, но НС сельскохозяйственной научной отрасли присутствуют во всех научных областях (см. таблицу 1). Также во всех областях науки присутствуют и НС биологической отрасли науки. При этом доминирующие везде технические НС отсутствуют в медицинской области науки, в которой, казалось бы, развитие медицинской техники — явный тренд в современной медицинской научной сфере и в практической медицине. В новой номенклатуре минимальное количество групп НС в области сельскохозяйственных наук и максимальное в социальных и гуманитарных науках свидетельствует о несопоставимости объёма накопленного и выработанного знания в этих науках.

Таблица 1 – Распределение отраслей науки по областям науки (согласно [5])

Наименование области науки				
Естественные	Технические	Медицинские	Сельско-хозяйственные	Социальные и гуманитарные
Наименование отраслей науки				
Биологические Ветеринарные Географические Геолого-минералогические Медицинские Психологические *Сельско-хозяйственные* Технические Фармацевтические Физико-математические Химические Экономические	Архитектура *Биологические* Геолого-минералогические Искусствоведение *Сельско-хозяйственные* Технические Физико-математические Химические	*Биологические* Ветеринарные Медицинские *Сельско-хозяйственные* Фармацевтические Химические	*Биологические* Ветеринарные *Сельско-хозяйственные* Технические Химические	Архитектура *Биологические* Ветеринарные Географические Геолого-минералогические Искусствоведение Исторические Культурологические Культурология Медицинские Педагогические Политические Психологические *Сельско-хозяйственные* Социологические Теология Технические Физико-математические Филологические Философские Химические Экономические Юридические
Количество отраслей науки в области науки				
12	8	6	5	23

Краткий анализ новой классификации позволяет утверждать о наличии объективных трудностей «разделения» знаний, о различии опыта и взглядов разработчиков на соответствие и отнесение тех или иных результатов в науке в «прокрустово ложе», в жёсткие границы заданной номенклатуры. Тем не менее, эта работа очень важна и нужна науке, и онтология науки с учётом достижений современных информационных технологий может быть тем инструментом, который позволит актуализировать представления о границах научного поиска и взаимосвязи научного знания.

В область социальных и гуманитарных наук (таблица 1) отнесены все отрасли науки за исключением фармацевтической, которая присутствует лишь в областях естественных и медицинских наук. Наибольшая трудность для разработчиков номенклатуры НС проявилась при классификации в группах НС исторических и биологических наук. Здесь наибольшее количество отраслей наук в одной НС содержит специальность «История науки и техники» (12 отраслей); «Биотехнология» - 7 отраслей, по шесть отраслей у НС «Генетика» и «Экология», пять отраслей у НС «Биохимия», «Физиология человека и животных» и «Океанология» (см. таблицу 2). Остальные НС удалось классифицировать в меньшее количество отраслей наук.

Вызывает сомнения целесообразность предложенного в номенклатуре НС «смешения» областей и отраслей науки с НС. Возможно, что отсутствие выработанных атрибутов этих понятий является причиной их иерархической неопределённости, вложенности, включённости, нестрогой классификации.

Современный этап состояния науки характеризуется бурным развитием и непрерывным накоплением знания, вовлечением в его производство миллионов исследователей, бесконечным, разноплановым и разнородным информационным потоком – продуктом цифровизации всех процессов в обществе. Этими фактами, а также отсутствием целостной онтологии науки, её понятийного аппарата, модели её развития обусловлена проблема структурирования науки в форме классификации (или т.н. номенклатуры НС). Возможно, что создаваемые порталы знаний (например [13, 14]) могли бы послужить основой для создания компьютерной онтологии науки, удобной для коллективного обсуждения и фиксации согласованных позиций специалистами-предметниками. Думается, что введение новых стандартов по онтологиям высшего уровня и общей логике [15-17] будет способствовать созданию подобной онтологии.

Таблица 2 – Научные специальности, включающие наибольшее количество отраслей науки (согласно [5])

Группа научных специальностей	Научная специальность	Отрасль науки	Кол-во отраслей науки
Исторические науки	История науки и техники	Архитектура Биологические Ветеринарные Географические Геолого-минералогические Исторические Медицинские Сельскохозяйственные Технические Физико-математические Философские Химические	12
Биологические науки	Биотехнология	Биологические Ветеринарные Медицинские Сельскохозяйственные Технические Фармацевтические Химические	7
	Генетика	Биологические Ветеринарные Медицинские Психологические Сельскохозяйственные Химические	6
	Экология	Биологические Ветеринарные Медицинские Сельскохозяйственные Технические Химические	6
	Биохимия	Биологические Ветеринарные Медицинские Сельскохозяйственные Химические	5
	Физиология человека и животных	Биологические Ветеринарные Медицинские Сельскохозяйственные Химические	5
Науки о Земле и окружающей среде	Океанология	Биологические Географические Геолого-минералогические Технические Физико-математические	5

Концептуально важно определить - что есть и из чего состоят научные: достижения, направления, дисциплины, проблемы, научно-обоснованные решения; являются ли эти термины понятиями, каковы их определения и атрибутированы ли они, есть ли согласие по их содержанию в научном сообществе, как они связаны с оценкой результатов научных исследований и оценкой квалификации учёных. Эти актуальные для науки вопросы стоят в центре внимания регулирующих органов, которые своими нормативными документами и актами формируют критерии и, в конечном итоге, вектор развития науки, стимулируя и направляя исследователей в актуальные для общества сферы.

Интересен опыт США в близкой сфере по развитию ИИ, когда созданная структура (Национальный исследовательский ресурс в области ИИ, *National Artificial Intelligence Research Resource*, *NAIRR*[3]) формирует Целевую группу для подготовки соответствующего отчёта [18]. Целевая группа проводит консультации с экспертами и заинтересованными сторонами из разных секторов; получает информацию об использовании ресурсов облачных вычислений для поддержки исследований в области ИИ, финансируемых из федерального бюджета. Одновременно с публикацией промежуточного отчёта Целевая группа выпустила Запрос на информацию (*RFI*)[4], чтобы собрать отзывы общественности о предварительных выводах, изложенных в отчёте. Кроме того, намечаются и публичные слушания. Целевая группа объединит эти отзывы общественности с другими предложениями и продолжит обсуждение, чтобы подготовить окончательный отчёт с изложением подробной дорожной карты и плана реализации *NAIRR*. Ожидается, что этот отчёт будет опубликован в декабре 2022 года.

Подобный механизм обсуждения важных в науке сущностей, вовлечение широкой общественности, экспертов в ПрО необходим для выработки согласованных понятий и действий.

Цель настоящего исследования - определить понятие «научное направление», выявить и обосновать его атрибуты, привести примеры НН. Автор надеется, что сделанная попытка в конкретизации понятия позволит внести ясность в его толкование, а предложенный атрибутивный формат понятия «НН» может служить оценочным инструментом НН.

2 Новое в науке: проблема определения

В соревновании за первенство в науке, в квалификационных оценках важно определить (дать определение), а лучше измерить (вычислить) — что есть научные достижения. Достижения при этом всегда трактуются как превышение уже достигнутого, известного, как новое обобщение, новый вывод, новый результат.

На государственном уровне, согласно Постановлению Правительства [19], критерии, по которым оцениваются полученные учёными результаты, в частности, для докторской диссертации, предполагают выполнение одной из трёх позиций:

- разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как ***научное достижение***;
- ***решение научной проблемы***, имеющей важное политическое, социально-экономическое, культурное или ***хозяйственное значение***;
- изложение новых научно обоснованных технических, технологических или иных решений, внедрение которых вносит ***значительный вклад*** в развитие страны.

Отмечается, что в диссертации, имеющей прикладной характер, должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, а в диссертации, имеющей теоретический характер, — рекомендации по использованию научных выводов. Отсюда важным аргументом квалификационной состоятельности соискателя является эффект, потенциально или действительно получаемый от использования новых знаний (методов, теорий, технологий). Диссертация должна содержать *новые научные результаты и положения* и свидетельствовать о личном вкладе автора диссертации в науку.

Следует отметить, что используемые в квалификационной оценке термины – *решение проблемы*, *научное достижение, хозяйственное и иное значение, вклад* – не имеют строгих определений, не атрибутированы, не являются однозначными и чёткими понятиями и находятся вне квалиметрической и вне атрибутивной оценок экспертного сообщества. Т.е. в зависимости от уровня знаний и понимания ПрО экспертами, от рассматриваемой ситуации, от личных предпочтений эти оценки могут быть произвольно истолкованы, переходя в итоге на

[3] *NAIRR* вычислительная инфраструктура и инфраструктура данных, предоставляющая исследователям в области ИИ доступ к вычислительным ресурсам и высококачественным данным, а также к соответствующим образовательным инструментам. Цель этого национального ресурса — поддержка исследований и разработок в области ИИ, позволяя всем исследователям ИИ участвовать в изучении инновационных идей для продвижения ИИ. https://www.ai.gov/nairrtf/.

[4] 31914 Federal Register / Vol. 87, No. 101 / Wednesday, May 25, 2022 / Notices. https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2022-05-25/pdf/2022-11223.pdf.

битовый уровень («0» и «1», «да» или «нет»). Есть достижение, имеется вклад, решена проблема, результат имеет значение – об этом экспертное сообщество судит исходя из своих убеждений и своей компетенции в конкретной области. Регламентные процедуры регулирующего органа (в данном случае ВАКа) настраиваются на возможность получения максимально объективной и адекватной оценки.

Прежний нормативный документ [20], формировавший требования к диссертациям, содержал иную формулировку, которая для соискателей учёной степени доктора наук была более конкретной, но в то же время более весомой с точки зрения её достижения. В ней требовалось сформулировать и обосновать научные положения, совокупность которых можно было бы квалифицировать как *новое перспективное направление* в соответствующей отрасли науки. Либо должно быть осуществлено теоретическое обобщение и решение крупной научной проблемы, имеющей важное народнохозяйственное, политическое и социально-культурное значение.

Т.к. НН и НД являются понятиями, имеют определения и набор атрибутов (о которых речь пойдёт далее), то у экспертного сообщества должен быть соответствующий инструмент в виде атрибутивной оценки результата квалификационной работы. В этом случае интуитивно используется не интегральная оценка, не совокупность представлений эксперта, определяющая реализуемость понятия полученного достижения, а требуется выполнить анализ реализуемости и выполнимости всех атрибутов, из которых состоит это понятие. В данной работе на основе анализа определений сделана попытка обосновать, атрибутировать и на примерах показать содержание понятия НН.

3 Интерпретации понятия «научное направление»

Объектом исследования является понятие НН и как его производная - НД. В качестве методов исследования использовались методы системного и онтологического анализа.

Традиционно под НН понимается наука, комплекс наук или научных проблем, в области которых ведутся исследования, характеризующаяся принципиальной общностью исследуемой научной проблематики на протяжении определённого времени [21]. НН рассматривается также как совокупность научных работ, объединённых общностью объекта исследования, методами исследования, общностью тем и их взаимосвязанностью, принадлежностью к одной НШ [22]. Основой НН является конкретная наука или ряд наук, входящих в научную отрасль, а также соответствующие методы исследования и технические устройства.

НН также рассматривается и как сфера научных исследований коллектива, посвящённых решению крупных фундаментальных задач в определённой отрасли науки. При этом структурными единицами НН являются: *комплексные проблемы, темы и вопросы,* где *комплексная проблема* – это совокупность проблем, объединённых единой целью, а *проблема* – это сложная научная задача, которая включает проблемную ситуацию и охватывает значительную область исследования, имеет перспективное значение.

В области научного исторического знания НН сложились, по преимуществу, в рамках неклассической модели науки в связи с расширением предметного пространства исторического знания, модификацией исследовательских проблем, диверсификацией исследовательских стратегий. НН - одно из самых дискутируемых понятий, по поводу которого *нет единства мнений* в историографии и науковедении [23].

НД — базовая форма организации профессиональной науки, объединяющая на предметно-содержательном основании области научного знания, сообщество, занятое его производством, обработкой и трансляцией, а также *механизмы развития и воспроизводства* соответствующей отрасли **науки** как профессии. Центральное место занимает методологическая и логическая работа по организации дисциплинарного знания, его актуализации, превращению в набор инструментов для нового исследования [24].

В рассматриваемой классификации [5] НН может быть и область фундаментальных, технических, гуманитарных и др. наук, любая из входящих в неё групп – математика, физика,…машиностроение, строительство, и др., а также конкретная НС – кибернетика, ИИ, автоматизация проектирования и др., что делает это понятие «плавающим», применимым к различным объёмам его содержания в зависимости от контекста. Это не всегда удобно, т.к. при употреблении этого термина приходится всегда сопровождать его контентом, его наполнением. Разработчики классификации [5] иерархически упорядочили терминологию, которая включает принятую последовательность: область науки – группа НС – НС (см. рисунок 3), где в данной работе НН рассматривается как развитие внутри выделенных (сформированных, обозначенных) НС. Очевидно, что принятые термины (область, отрасль, направление…), обобщающие содержание уровней в иерархии научных знаний и дальнейшую детализацию внутри этих уровней, условны, но необходимы для фиксации этих уровней, для адекватной научной коммуникации и построения онтологии науки.

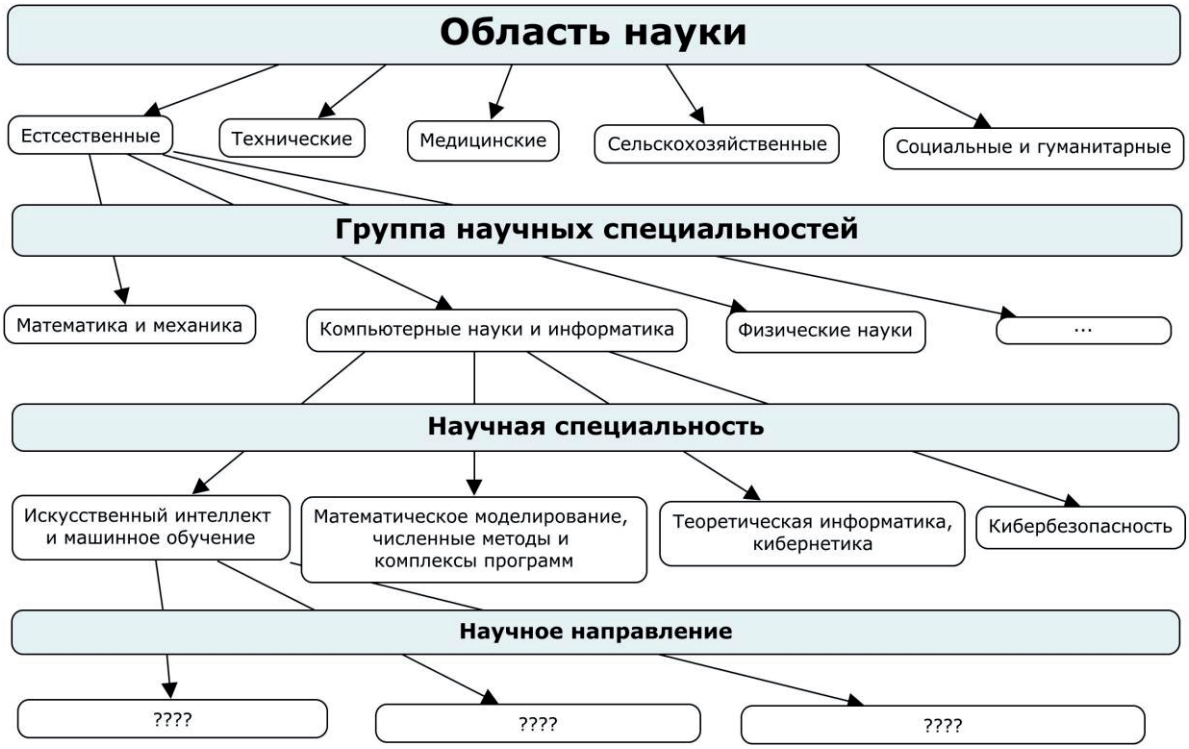


Рисунок 3 – Фрагмент иерархии понятий в классификации наук

Историческое развитие конкретных научных знаний и науки в целом постоянно приводит к изменению представлений об их классификации[5]. Благодаря развитию научной деятельности происходит раскрытие взаимосвязей и взаимопроникновений наук на основании различных принципов (объективных, субъективных, координации, субординации и др.). Важное значение для понимания принципов классификации науки имеют способы её изображения (схемы, таблицы, графики и др.). Классификация науки является не только фактором, организующим познавательную деятельность, но и фактором, который определяет уровень систематизации объектов познания во всех науках [25, 26].

[5] Два десятка различных классификаций наук от Платона и Марка Фабия Квинтилиана до наших дней с кратким описанием представлены на сайте *VIKENT.ru*. - https://vikent.ru/enc-list/category/332/.

4 Жизненный цикл научной дисциплины

Если у какого-нибудь процесса есть начало, то у него должен быть и конец. Отсюда появилось и понятие жизненного цикла (ЖЦ), в котором цикличность существования не всегда касается самих объектов в этом процессе, у них напротив, «билет в один конец». Так и с НН и НД, которые зарождаются, развиваются, дают новые «всходы» для новых дисциплин и направлений, «растворяясь» в них. В конкретном случае какого-либо НН, НД можно говорить лишь об этапах их жизненного пути.

Толкование «начала» и «конца» [27] в ЖЦ относительно несложных объектов и процессов существенно изменится при исследовании сложных систем и процессов, не имеющих чётких границ, т.н. нечётких систем и множеств, к каковым, безусловно, относятся НН. Описание таких систем связано с внутренней противоречивостью, неопределённостью и динамизмом их свойств и характеристик, наличием у них предшествующей истории, прямых и обратных, положительных и отрицательных связей и отношений, жёстких и нежёстких взаимодействий, вероятностных и жёстких структур, алгоритмов и программ поведения, а у человека – целей [28]. Определить начало и конец ЖЦ существования сложных объектов и систем, включая НН и НД, крайне затруднительно [29]. Однако благодаря возникновению паранепротиворечивой логики, теории нечётких систем, применению условных мер качества и свойств на основе методов статистики, экспертных оценок, контент-анализа и др. методов делаются попытки создания методологии описания таких объектов (см. например [28]).

В последние десятилетия понятие ЖЦ используется очень широко. Рассматривается ЖЦ организаций, проектов, инноваций, включая различные технологии.

ЖЦ НД — это последовательность взлётов и падений научной активности на протяжении времени существования данной дисциплины. В зависимости от продолжительности существования НД её ЖЦ может принимать различный вид: на коротком историческом промежутке меньше подъёмов и спадов, на длинном — больше. Чем дольше существует НД, тем сложнее описание динамики её жизненного пути. Для этого необходимо определить, например: как учитывать количество публикаций в данной отрасли по годам; что считать относящимся к данной НД: работы, целиком посвящённые избранной тематике, или работы, в которых данная тематика изучается наряду с другими НД; учитываются только опубликованные исследования и т.д. [30]. Оценивая ЖЦ и атрибуты НД можно заключить, что во многих случаях это понятие можно рассматривать как синоним НН.

Наиболее близким графическим интерпретатором для ЖЦ НД мог бы быть широко используемый цикл Гартнера или оценка ажиотажа вокруг технологий[6]. *Gartner Hype Cycles* - графическое представление зрелости и внедрения технологий (приложений), которое показывает развитие технологии с течением времени, предоставляя источник информации для управления их развёртыванием в контексте конкретных бизнес- или иных целей.

Каждый цикл ажиотажа включает пять этапов ЖЦ технологии.

Инновационный триггер. Запуск технологий и подтверждение концепции порождает интерес средств массовой информации, которые вызывают значительную огласку.

Пик завышенных ожиданий. Ранняя огласка порождает ряд историй успеха, часто сопровождаемых десятками неудач. Некоторые компании принимают меры, многие этого не делают.

Корыто разочарования. Интерес ослабевает по мере того, как эксперименты и реализации не приносят результатов. Производители технологии терпят неудачу.

Наклон просветления. Всё больше примеров того, как технология может принести пользу и становится более понятной. Больше предприятий финансируют пилотные проекты.

Плато продуктивности. Начинается массовое внедрение, более чётко определены критерии оценки жизнеспособности. Широкая рыночная применимость и актуальность технологии окупаются.

[6] *Gartner Hype Cycle. Interpreting technology hype*. https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle.

Никто «корыто» не минует, в т.ч. и онтологии. На рисунке 4 видно, как в 2020 году онтологии и графы знаний приближались к ним по оценке масс медиа…

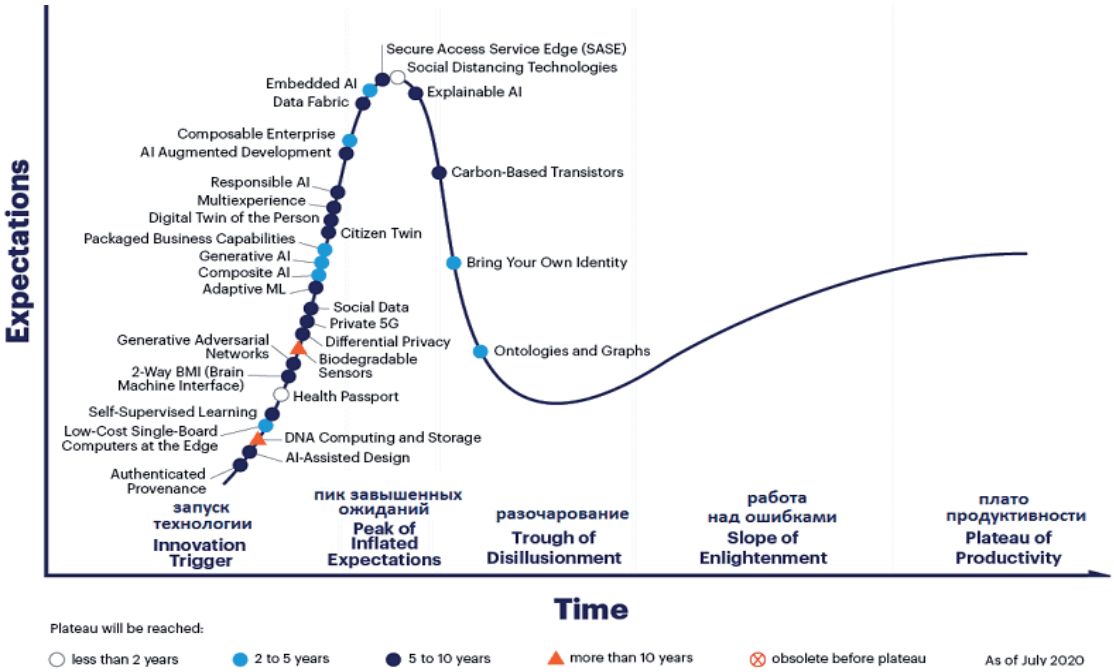


Рисунок 4 – Цикл ажиотажа новых технологий 2020 года. *Gartner.com*

5 Инфраструктура НН

Управление, проектирование, прогнозирование и планирование на онтологическом, физическом уровне отличаются как виды деятельности (см. рисунок 5). Например, известно, что управлять можно тем, что существует, а проектируют то, чего ещё нет.

Рисунок 5 – Виды деятельности на онтологическом уровне

Любая деятельность, в т.ч. функционирование (формирование, развитие…) НН, предполагает наличие поддерживающей её инфраструктуры. Инфраструктура включает в себя комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования системы.

Инфраструктура научной, научно-технической и инновационной деятельности – совокупность субъектов и инструментов, обеспечивающих материально-техническое, финансовое, организационно-методическое, информационное, консультационное и иное сопровождение научной, научно-технической, инновационной деятельности, и объектов, используемых для указанного обеспечения [31].

Инфраструктура знаний НН фактически представляет собой механизм формирования и развития, верификации и аккумулирования знаний (см. рисунок 6). Атрибуты механизма формирования и развития НН включают атрибуты добычи, фиксации, апробации и трансляции знаний. Среди фиксирующих атрибутов на сегодняшний день в науке наиболее ценными остаются научные журналы со своим механизмом верификации знаний. Спектр атрибутов апробации знаний широк, в него входят различные формы обсуждения добытых знаний, обмен ими, дискуссии на разных форумах, в кулуарах, на семинарах, конференциях, квалификационных советах и др. Для НН не менее важен атрибут оперативной трансляции знаний в виде учебных дисциплин для новых «носителей» знаний – студентов и аспирантов.

Рисунок 6 – Инфраструктура знаний научного направления и её атрибуты

6 Онтология НН

Авторское понимание онтологии НН и её важнейших атрибутов приведено на рисунке 7.

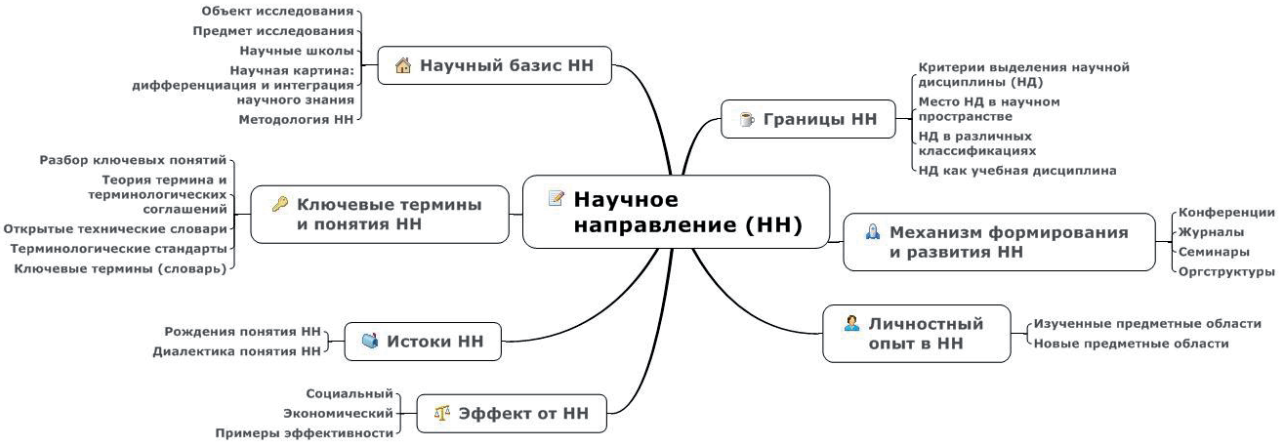


Рисунок 7 – Онтология научного направления

Оно получено благодаря изучению и исследованию НН «Онтология проектирования» [4, 29, 32]. Это: истоки, научный базис, границы, ключевые термины и рассмотренный в разделе 5 механизм формирования и развития, верификации и аккумулирования знаний. Автор убеждён, что без ненулевых значений любого из приведённых атрибутов о сформированности НН говорить не приходится. Приведённый на рисунке «личностный опыт» [4] является важным атрибутом НН и характеризует принадлежность этого НН к сформировавшейся НШ. Эффект от НН не менее важен для развития НН, т.к. формирует ресурсы, способные поддержать исследования в выбранном направлении [32].

Сетевая модель НН – модель, в которой НН формируется различными НШ, дополняющими и развивающими свои аспекты НН.

Централизованная модель НН – модель, в которой основу получаемых результатов в НН составляет одна ведущая НШ, т.е. НН практически полностью совпадает с тематикой НШ.

7 Терминология в научной школе «Информатизация образования»

НШ академика Российской академии образования (РАО), д.пед.н., профессора И.В. Роберт, созданная в Институте стратегии развития образования РАО, является наглядным примером разработанного НН «Информатизация образования». Содержание сайта этой НШ в полной мере соответствует предложенным атрибутам, характеризующим понятие НН[7]. Здесь и истоки НН (История развития НШ), и научный базис НН (Общая информация, Публикации НШ, Защищенные диссертации), и границы (Сертификационная деятельность, Архив изданий, Архив НИР, Информационные фонды), и инфраструктура развития (Научные конференции, Сотрудничество), и ключевые термины и понятия (Словарь понятийного аппарата информатизации образования – толкование терминов), и личностный опыт основателя и последователей НШ и НН.

Разрабатываемое НН и данная НШ показательны также тем, что в них значительное внимание уделяется терминам и понятиям в исследуемой ПрО. Так, в настоящее время готовится к изданию обновленная и расширенная версия «Толкового словаря терминологического аппарата информатизации образования», в котором тщательно отбираются термины, обосновывая их определения, исключая «нелегитимные», употребление которых искажает смысл понятий. Например, словосочетания «цифровизация педагогики», «цифровая педагогика», «цифровая дидактика» разработчики нового словаря считают лишёнными смысла. При этом вполне допускают и легитимируют, например, следующие словосочетания [33-35]:

- цифровизация информационного взаимодействия субъектов образовательного процесса;
- цифровизация информационно-методического обеспечения образовательного процесса;
- цифровизация организационного управления образовательной организацией;
- цифровизация обеспечения информационной безопасности личности обучающегося;
- цифровизация образовательных услуг.

При этом *цифровая информационно-образовательная среда* – совокупность условий осуществления информационного взаимодействия между субъектами образовательного процесса с интерактивным информационным ресурсом с помощью средств информационных и коммуникационных технологий, взаимодействующих с ним как с субъектом информационного взаимодействия и личностью.

Формирование НН «Информатизация образования» во многом схоже с формированием НН «Символьный ИИ», когда одновременно навстречу друг другу идут исследования в академических и прикладных лабораториях («теоретики» и «предметники»). Специалисты, занимаясь автоматизацией проектирования артефактов, создавая системы автоматизированного проектирования (САПР), «попутно» разрабатывали и т.н. учебные САПР.

Значительные достижения в этой области были получены в Самарском университете под руководством профессора А.В. Соловова [36].

8 Примеры научных направлений в Самарском университете

В качестве примеров рассмотрены НН, сформированные в Самарском университете. Различные ПрО, уровень их проработки, имеющиеся ресурсы и возможности (материальные, административные, финансовые, кадровые и др.), научно-технический задел и мн. др. факто-

[7] Научная школа Роберт И.В. "Информатизация образования". - http://robert-school.ru/.

ры осложняют сравнительный анализ степени зрелости и разработанности различных НН. Однако без атрибутов, отмеченных в разделе 6 и характеризующих сформированное НН, можно говорить лишь о фрагментарном поиске своего пути в науке, о начальной или уже завершающей стадии ЖЦ НН.

На портале Самарского университета представлено 30 основных НН[8] и более 30-ти НШ и ведущих научных коллективов[9] университета, которые возглавляют академики РАН и доктора наук. Сопоставительный анализ заявленных НН и существующих НШ показал их далеко не полное соответствие. Это вполне объяснимо, с одной стороны, тем, что НН в большей степени декларативные и показывают вектор научных интересов, вектор желаний и потенциальных возможностей, который формируется руководством университета и не в полной мере реализуется имеющимися НШ и коллективами. С другой стороны, сформированные НШ чаще более узко формулируют и формируют свои направления деятельности, более чётко видят своё место в разрабатываемой научной области.

8.1 «Компьютерная оптика»

Наиболее ярким примером сформированного НН в Самарском университете является НШ академика РАН В.А. Сойфера. Новое НН под названием «Компьютерная оптика» было создано под руководством Нобелевского лауреата, академика РАН А.М. Прохорова в 1978 году[10]. В 1987 году по инициативе академиков Е.П. Велихова и А.М. Прохорова и профессора И.Н. Сисакяна начал издаваться журнал[11] «Компьютерная оптика», о котором академик В.А. Сойфер говорил, что «это направление в науке, научный бренд, и он — наш, российский, хотя сегодня речь идёт уже о фотонике, как о более широком понятии»[8].

Исследования в области компьютерной оптики и обработки изображений были начаты в Самарском университете (тогда КуАИ) на рубеже 70-80 гг. прошлого века. Эти работы сформировали основу *нового НН*, которое получило название «компьютерная оптика»[12]. «Всё это — большое достижение нашего научного коллектива. Но надо понимать, что мы действовали не сами по себе. Мы стояли и ***стоим на плечах гигантов науки***[10]». Ключевая фраза академика РАН В.А. Сойфера о преемственности, об уважении отцам-основателям науки формирует новую плеяду учеников, которые продолжат исследования в выбранной области, продлят жизнь НН, дадут новые всходы для новых продуктивных идей.

Оптика на основе дифракционных линз нашла своё применение в самых различных сферах — космосе, медицине, сельском хозяйстве [37, 38]. В университете разработана сверхлёгкая оптическая система для дистанционного зондирования Земли[13], которая упростит и удешевит создание массовых группировок наноспутников для постоянного мониторинга земной поверхности. Миниатюрные устройства найдут своё применение в качестве камер на беспилотных летательных аппаратах. Добиться таких практических результатов удалось благодаря современной лабораторно-экспериментальной базе и сотрудничеству с зарубежными научными учреждениями.

Школа В.А. Сойфера демонстрирует пример широкой эволюции знаний и даже экспансии в другие смежные области, когда «сопутствующие» результаты «неожиданно» превращаются в научные достижения, которые конкурируют с другими коллективами, традиционно занимающимися схожими вопросами. Большие данные, получаемые в исследованиях, выве-

[8] Основные научные направления. https://ssau.ru/science/nid/directions.
[9] Научные школы и ведущие научные коллективы. https://ssau.ru/science/nid/schools.
[10] Школа Сойфера: наука и жизнь. 16.06.2017. https://ssau.ru/news/14141-shkola-soyfera-nauka-i-zhizn.
[11] Официальный сайт журнала "Компьютерная оптика». http://www.computeroptics.ru/.
[12] Научная школа "Компьютерная оптика, обработка изображений и геоинформатика". 13.07.2021. https://ssau.ru/events_news/ref/33-nauchnaya-shkola-kompyuternaya-optika-obrabotka-izobrazheniy-i-geoinformatika.
[13] Научная школа в области обработки данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). 28.06.2021. https://ssau.ru/events_news/ref/28-nauchnaya-shkola-v-oblasti-obrabotki-dannykh-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dzz.

ли на технологии их обработки, технологии МО, технологии ИИ [37]. В Самарском университете создаётся Центр ИИ, затем Институт ИИ, а сейчас уже готовят специалистов по ИИ. В рамках VII Международной конференции и молодёжной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2021) состоялись заседания круглых столов «Научные проблемы ИИ» и «Технологии ИИ в промышленности и бизнесе».[14] Человеческий фактор также в кругу научных интересов, которые формирует и развивает академик В.А. Сойфер [39].

«НШ - это явление в большей степени российское. Оно подразумевает совместную работу учёных разных поколений. Например, в США такого понятия не существует, там учёные меняют место работы, переезжают из университета в университет каждые 5-7 лет. В России НШ возникли ещё до революции, и появились они благодаря выдающимся учёным. Что касается нашего коллектива — кафедр и лабораторий Самарского университета, входящих в Институт информатики, математики и электроники, то это, без сомнения, школа. Более полутора десятков моих учеников — доктора наук, самостоятельно работающие исследователи, заведующие кафедрами. Их собственные ученики уже защитили докторские диссертации. Это - школа», - говорит академик В.А. Сойфер[13].

8.2 «Онтология проектирования»

НН «Онтология проектирования» имеет давнюю историю [29] и подробно описана в статье [4]. Члены редколлегии и авторы журнала продолжают вносить свой вклад в её развитие.

9 Пирамида знаниевых ценностей в университете

Образный инструмент пирамиды широко используется на практике при иерархической классификации исследуемой ПрО. Известны пирамиды: классов К. Маркса, потребностей А. Маслоу, а также ценностей организации Н.М. Абдикеева[15] [40], где на вершине последней располагаются ЗНАНИЯ (идеи и информация).

Для ведущих университетов стратегической целью является не использование ЗНАНИЯ, что характерно для бизнес-организаций, а «***генерация новых* ЗНАНИЙ**, рынков, бизнесов и навигация человека в мире информации, обеспечивающая баланс физической и виртуальной реальностей»[16].

Пирамида знаниевых ценностей в университете видится в следующей иерархии (см. рисунок 8). В этой пирамиде сущностями являются:

студенты – потребители знаний,

преподаватели – носители и трансляторы знаний,

профессора, НШ – генераторы знаний,

кафедры, лаборатории – тематические подразделения в конкретной области знаний (общекультурных и профессиональных дисциплин),

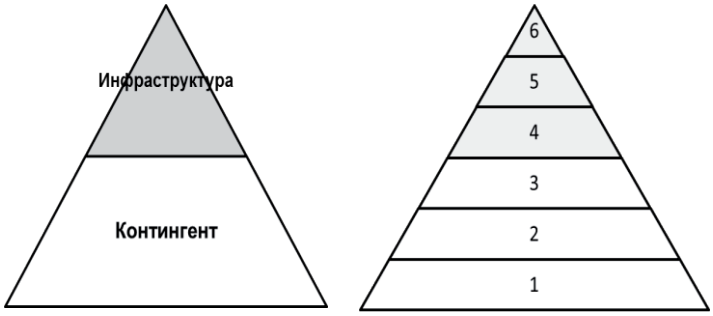


Рисунок 8 - Пирамида знаниевых ценностей в университете (1 – студенты; 2 – преподаватели; 3 – профессора; 4 – кафедры, лаборатории; 5 – институты, факультеты; 6 - **?**)

институты, факультеты – организующие структуры, формирующие план и осуществляющие его реализацию по превращению (интеграции) дифференцированных (отдельных,

[14] Международная конференция «Информационные технологии и нанотехнологии». http://itnt-conf.org/.
[15] *Абдикеев Н.М.* Создание системы управления знаниями в организации. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. http://lc.kubagro.ru/uz.pdf.
[16] Стратегия развития Университета ИТМО до 2027 года. https://itmo.ru/file/pages/171/Presentation_2027.pdf.

конкретных) знаний, транслируемых студентам в тематических подразделениях, в профессиональные компетенции выпускников.

В любой университетской пирамиде ректорат видит себя на вершине пирамиды и по факту располагается там, но только не в ЗНАНИЕВОЙ пирамиде. Здесь знаковым в инфраструктуре университета являются научные журналы. Ни в какой мере не умаляя важности организующей функции руководства университета, стоит подчеркнуть, что новые знания создаются не в кабинетах управленцев.

Научные журналы – аккумуляторы знаний в ПрО по профилю университета – верифицируют теории, методы, модели, готовят основу для формирования и развития новых направлений в науке, являются базой знаний для новых учебных дисциплин. Именно журналы формируют научную базу знаний и картину мира, из которых впоследствии вырастают новые теории, концепции, НД, а затем и учебные курсы и специальности.

Университет, не имеющий своих собственных журналов, не способен формировать «воронку знаний» и не может претендовать на статус научно-исследовательского, на статус мирового уровня. Тем более по направлениям, которые находятся на гребне научного поиска.

О сложности и трудоёмкости «производства» журналов говорит тот факт, что институтов и факультетов в университетах всегда больше, чем журналов, а кафедр и иных научных подразделений больше на порядки. Сотни профессоров не имеют своих журналов, и лишь немногие, обладающие НШ и соответствующими ресурсами, способны регулярно выпускать продукцию мирового уровня…

Журналы формируют научную повестку дня, работают на престиж университетов, демонстрируют научный, научно-организационный уровень и высокие компетенции научно-педагогического состава ВУЗа. Именно этим журналам учёные из других университетов и академических институтов, из разных городов и стран доверяют верифицировать свои научные результаты.

Выводы

В работе сделана попытка атрибутировать понятие НН на основе анализа новой официальной номенклатуры научных специальностей в Российской Федерации и анализа различных подходов к классификации наук. Предложено упорядочить соотношения и включённость понятий: область науки – группы НС – НС – НН. Понятие «отрасль науки» надлежит доопределить. Возможным решением может быть встраивание понятия «отрасль науки» в иерархию классификации наук между понятиями «область науки» и «группы НС». Понятие НД может рассматриваться как синоним НН.

Наличие рассмотренных атрибутов НН в разной степени разработанности позволяет утверждать о сформированном НН, а отсутствие хотя бы одного атрибута свидетельствует лишь о фрагментарном поиске своего пути в науке. Для квалификационной оценки разработчика НН требуется подтверждение участия в формировании НН, т.е. наличия у исследователя личностного опыта и вклада в это направление.

Предложено соотношение НН и НШ, в котором рассматриваются две модели: *сетевая*, включающая в НН различные НШ и частные исследования, выполняемые в различных, не связанных обязательствами организаций, и *централизованная*, базирующаяся на ведущей НШ, разрабатывающей НН.

Проблема классификации науки обусловлена отсутствием целостной онтологии науки, её понятийного аппарата, модели её развития. Возможно, что создаваемые порталы знаний могли бы послужить основой для создания компьютерной онтологии науки, удобной для коллективного обсуждения и фиксации согласованных позиций специалистами-предметниками.

Список источников

[1] ***Вербер Б***. Дыхание богов. Пер. с фр. М.: Издательский дом «Гелеос». 2007. 592 с.

[2] ***Диллон Джон.*** Наследники Платона. Исследование истории Древней Академии (347–274 В.С.). Перевод с английского Е.В. Афонасина. СПб., Издательство СПБГУ, 2005. 281 с.

[3] Философия: Энциклопедический словарь. М.: Гардарики. Под редакцией А.А. Ивина. 2004. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/НАУКА.

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

[5] Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённое приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 г. № 1093» (Зарег. 06.04.2021 № 62998).

[6] ***Newton Isaac***. Letter from Sir Isaac Newton to Robert Hooke, 1675. *Historical Society of Pennsylvania*. Retrieved 7 June 2018.

[7] Рекомендация Президиума ВАК Минобрнауки России от 10.12.2021 N 32/1-НС «О сопряжении научных специальностей номенклатуры, утверждённой приказом Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. N118, научных специальностей номенклатуры, утверждённой приказом Минобрнауки России от 23 октября 2017 г. N 1027».

[8] ***Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.*** Инженерия знаний. Модели и методы. СПб, Лань, 2016. 324 с.

[9] ***Gavrilova T., Kokoulina L***. Using Ontology Engineering to Design Artificial Intelligence Course // In Smart Education and e-Learning SEEL, Smart Innovation, Systems and Technologies series 144, in: Uskov V.L. et al., (eds.), Springer, 2019. P.201-207. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4_19.

[10] ***Borgest N., Korovin M., Gromov A., Gromov A.*** The concept of automation in conventional systems creation applied to the preliminary aircraft design // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015, vol.342, p.147-156.

[11] S&T Artificial Intelligence & Machine Learning. Strategic Plan. U.S. Department of Homeland. Security (DHS) Science and Technology Directorate (S&T). August 1, 2021. 24 p. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/21_0730_st_ai_ml_strategic_plan_2021.pdf.

[12] Artificial Intelligence Strategy. U.S. Department of Homeland Security. December 3, 2020. 18 p. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/dhs_ai_strategy.pdf.

[13] ***Загорулько Г.Б.*** Разработка онтологии для Интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях // *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №4(22): 485-500. DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.

[14] ***Загорулько Ю.А.*** Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области // Онтология проектирования. 2015. Т.5, №1(15): 30-46.

[15] ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 1. Требования. Information technology. Top-level ontologies (TLO). Part 1. Requirements. Дата введения 2022-04-30.

[16] ГОСТ Р 59798-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 2. Базисная формальная онтология (BFO). Information technology. Top-level ontologies (TLO). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Дата введения 2022-04-30.

[17] ГОСТ Р 59791-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Общая логика (CL). Основы семейства языков, основанных на логике. (ISO/IEC 24707:2018, NEQ). Дата введения 2021-10-25.

[18] Envisioning a National Artificial Intelligence Research Resource (NAIRR): Preliminary Findings and Recommendations. An Interim Report by the NAIRR Task Force. *Tess de Blanc-Knowles, Emily Grumbling, Matthew Ishimaru, Morgan Livingston, Lisa Van Pay, Taylor White,* May 2022. 72 p. https://www.ai.gov/wp-content/uploads/2022/05/NAIRR-TF-Interim-Report-2022.pdf.

[19] Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 11.09.2021) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней").

[20] Совет Министров СССР. Постановление от 29 Декабря 1975 Г. N 1067. О Положении о порядке присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий.

[21] ***Сарыбеков М.Н., Сыдыкназаров М.К***. Словарь науки. Общенаучные термины и определе-ния, науковедческие понятия и категории. Издание 2-ое, доп. и перераб. Алматы: ТРИ-УМФ-Т, 2008. 504 с.

[22] Толковый словарь «Инновационная деятельность». Термины инновационного менеджмента и смежных областей. 2-е изд., доп. Новосибирск: Сибирское научное издательство. Отв. ред. В.И. Суслов. 2008.
[23] Теория и методология исторической науки. Терминологический словарь. Отв. ред. А.О. Чубарьян. М.: Аквилон, 2016.
[24] Новая философская энциклопедия: В 4 т. М.: Мысль. Под редакцией В.С. Стёпина. 2001.
[25] ***Бармин А.В.*** К проблеме классификации науки // История науки и техники в системе современных знаний: материалы научной конференции. УПИ, Екатеринбург, 14 декабря 2009 г. С.41-46.
[26] ***Разеев Д.Н.*** Проблема классификации наук (феноменологический подход к решению). Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6, 2010. №2, с.28-32.
[27] Толковый словарь русского языка: 72500 слов и 7500 фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова; РАН, Ин-т рус. яз., Российский фонд культуры. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Азъ, 1994. 907 с.
[28] Прикладные нечёткие системы / Под ред. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Перев. с яп. яз. - М.: Мир, 1993. 368 с.
[29] ***Боргест Н.М.*** Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха // Онтология проектирования. 2018. Т.8. №4(30). С.487-522. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
[30] ***Добреньков В.И, Кравченко А.И.*** Фундаментальная социология: В 15 т. Т.1. Теория и методология. М.: ИНФРА-М, 2003. 908 с.
[31] ***Тодосийчук А.В.*** О совершенствовании законодательного обеспечения научной, научно-технической и инновационной деятельности // Управление наукой и наукометрия. 2017. №4 (26). С.66-87.
[32] ***Боргест Н.М.*** Социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем // Онтология проектирования. 2021. Т.11, №1(39). С.35-50. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.
[33] ***Роберт И.В.*** Развитие информатизации образования в условиях цифровой трансформации // Педагогика. 2022. Т.86. №1. С.40-50.
[34] ***Robert I.V.*** Formation and development of digital transformation of domestic education on the basis of systemic convergence of pedagogical science and technology. 03017 Published online: 26 April, 2021. DOI: https://doi.org/10.1051/shsconf/202110103017.
[35] ***Robert I.V.*** Development of education during digitalization in the context of the axiological approach. In A.A. Arinushkina (Ed.), Advances in Education Research and Practice. Cham, Switzerland: Springer. 2021.
[36] ***Соловов А.В.*** Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология. Самара: Новая техника, 2006. 464 с.
[37] ***Головастиков Н.В., Дорожкин П.С., Сойфер В.А.*** Интеллектуальные технические системы на основе фотоники // Онтология проектирования. 2021. Т.11, №4(42). С.422-436. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-422-436.
[38] ***Ткаченко И.С.*** Анализ ключевых технологий создания многоспутниковых орбитальных группировок малых космических аппаратов // Онтология проектирования. 2021. Т.11, №4(42). С.478-499. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-478-499.
[39] ***Сойфер В.А.*** Human fActor // Онтология проектирования. 2021. Т.11, №1(39). С.8-19. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
[40] ***Абдикеев Н.М., Киселёв А.Д.*** Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса. М.: ИНФРА-М, 2011. 382 с.

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва (1978), к.т.н. (1985). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета, с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям, Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ в области автоматизации проектирования и ИИ. AuthorID (РИНЦ): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. *borgest@yandex.ru.*

Поступила в редакцию 10.06.2022, после рецензирования 27.06.2022. Принята к публикации 30.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157

Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples

© 2022, 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 presents the author's view of the ontology of scientific direction and the ontology of designing a scientific direction, which was discussed at the scientific seminar "Ontology of Designing" in February 2021. Another change in the classification of scientific disciplines, presented by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, and the subsequent restructuring of the qualification structure of Russian science determined the relevance of the topic addressed in the article. An attempt is made to analyze what the scientific achievements, directions, disciplines, problems, and scientifically based solutions are and what they consist of; whether these terms are concepts, what are their definitions and whether they are attributed, and whether there is an agreement on their content in the scientific community. The purpose of the study was to define the concept of "scientific direction", to identify its attributes, and to give examples of scientific directions. It is shown that the evolution of scientific knowledge includes different stages of the life cycle of scientific disciplines, the degree of maturity of which correlates well with the Gartner curve. According to the author, the main attributes of the concept of "scientific direction" are its origins, key terms, scientific basis, boundaries, mechanism of formation and expected effect from the development of a scientific direction. The presence of these attributes in varying degrees of development allows us to assert a formed scientific direction, and the absence of at least one attribute speaks only of a fragmentary search for one's own path in science. For the qualification assessment of the developer of a scientific direction, confirmation of participation in the formation of a scientific direction is required, i.e. the researcher's personal experience and contribution to this direction. As an example, the scientific directions formed at the Samara University are considered, in particular, "Computer Optics" and "Ontology of Designing".

Key words: *system analysis, classification of science, scientific discipline, scientific direction, ontology, ontology of designing.*

For citation: *Borgest NM.* Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.

Acknowledgment: The author expresses his gratitude to the members of the editorial board, readers and authors of the journal "Ontology of Designing" for their active participation and support in the development of the scientific direction "Ontology of Designing".

Financial Support: financial support for the development of the scientific direction "ontology of design" at different stages of its formation was provided by: Samara University, IPUSS RAS and “New Engineering” LLC.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - Number of scientific specialties by scientific branches (according to [5])
Figure 2 - Number of scientific specialties by field of science (according to [5])
Figure 3 - Hierarchy of concepts in the classification of sciences
Figure 4 - The 2020 technology hype cycle. Gartner.com
Figure 5 - Activities at the ontological level
Figure 6 - Research infrastructure and its attributes
Figure 7 - Ontology of scientific direction
Figure 8 - Pyramid of knowledge values at the university (1 - students; 2 - teachers; 3 - professors; 4 - departments, laboratories; 5 - institutes, faculties; 6-?)

Table 1 - Distribution of branches of science by fields of science (according to [5])
Table 2 - Scientific specialties, including the largest number of branches of science (according to [5])

References

[1] ***Werber B.*** Breath of the Gods [In Russian]. Transl. from Fr. Moscow: Publishing house "Geleos". 2007. 592 p.

[2] ***Dillon J.*** The Heirs of Plato. A Study of the Old Academy (347–274 B.C.). Clarendon Press, Oxford, 2003.

[3] Philosophy: Encyclopedic Dictionary [In Russian]. Moscow: Gardariki. Edited by A.A. Ivin. 2004. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/НАУКА.

[4] ***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.

[5] Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated February 24, 2021 No. 118 [In Russian]. "On approval of the nomenclature of scientific specialties in which academic degrees are awarded, and amendments to the Regulations on the Council for defending dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science, approved by order of the Ministry of Education and Science of Russia dated November 10, 2017 No. 1093" (Registered on April 6, 2021 No. 62998).

[6] ***Newton Isaac***. Letter from Sir Isaac Newton to Robert Hooke, 1675. *Historical Society of Pennsylvania*. Retrieved 7 June 2018.

[7] Recommendation of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia dated December 10, 2021 N 32 / 1-NS [In Russian]. "On the conjugation of scientific specialties of the nomenclature approved by order of the Ministry of Education and Science of Russia of February 24, 2021 N118, scientific specialties of the nomenclature approved by order of the Ministry of Education and Science of Russia of October 23, 2017 N 1027 ".

[8] ***Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI.*** Knowledge engineering. Models and methods [In Russian]. St. Petersburg, Lan, 2016. 324 p.

[9] ***Gavrilova T, Kokoulina L***. Using Ontology Engineering to Design Artificial Intelligence Course // In Smart Education and e-Learning SEEL, Smart Innovation, Systems and Technologies series 144, in: Uskov V.L. et al., (eds.), Springer, 2019. P.201-207. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8260-4_19.

[10] ***Borgest N, Korovin M, Gromov A, Gromov A.*** The concept of automation in conventional systems creation applied to the preliminary aircraft design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, vol.342, p.147-156.

[11] S&T Artificial Intelligence & Machine Learning. Strategic Plan. U.S. Department of Homeland. Security (DHS) Science and Technology Directorate (S&T). August 1, 2021. 24 p. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/21_0730_st_ai_ml_strategic_plan_2021.pdf.

[12] Artificial Intelligence Strategy. U.S. Department of Homeland Security. December 3, 2020. 18 p. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/dhs_ai_strategy.pdf.

[13] ***Zagorulko GB.*** Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(4): 485-500. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.

[14] ***Zagorulko GB.*** Semantic technology for development of intelligent systems oriented on experts in subject domain [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 30-46.

[15] GOST R ISO/IEC 21838-1-2021. National standard of the Russian Federation. Information Technology. Top-level ontologies (TLO) [In Russian]. Part 1. Requirements. Information technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Requirements. Effective date 2022-04-30.

[16] GOST R 59798-2021. National standard of the Russian Federation. Information Technology. Top-level ontologies (TLO) [In Russian]. Part 2. Basic formal ontology (BFO). Information technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Effective date 2022-04-30.

[17] GOST R 59791-2021. National standard of the Russian Federation. Information Technology [In Russian]. General logic (CL). Fundamentals of a family of languages based on logic. (ISO/IEC 24707:2018, NEQ). Effective date 2021-10-25.

[18] Envisioning a National Artificial Intelligence Research Resource (NAIRR): Preliminary Findings and Recommendations. An Interim Report by the NAIRR Task Force. *Tess de Blanc-Knowles, Emily Grumbling, Matthew Ishimaru, Morgan Livingston, Lisa Van Pay, Taylor White,* May 2022. 72 p. https://www.ai.gov/wp-content/uploads/2022/05/NAIRR-TF-Interim-Report-2022.pdf.

[19] Decree of the Government of the Russian Federation of September 24, 2013 N 842 (as amended on September 11, 2021). "On the procedure for awarding academic degrees" (together with the "Regulations on the award of academic degrees") [In Russian].

[20] Council of Ministers of the USSR. Decree of December 29, 1975 N 1067. On the Regulations on the procedure for awarding academic degrees and conferring academic titles [In Russian].
[21] ***Sarybekov MN, Sydyknazarov MK.*** Dictionary of science. General scientific terms and definitions, scientific concepts and categories [In Russian]. 2nd edition, add. and reworked. Almaty: TRI-UMF-T, 2008. 504 p.
[22] "Innovative activity", explanatory dictionary [In Russian]. Terms of innovation management and related fields. 2nd ed., add. Novosibirsk: Siberian scientific publishing house. Rep. ed. IN AND. Suslov. 2008.
[23] Theory and methodology of historical science [In Russian]. Terminological dictionary. Rep. ed. A.O. Chubaryan. Moscow: Akvilon, 2016.
[24] New Philosophical Encyclopedia: In 4 vols. [In Russian]. Moscow: Thought. Edited by V.S. Stepin. 2001.
[25] ***Barmin AV.*** On the problem of classification of science [In Russian]. History of science and technology in the system of modern knowledge: materials of a scientific conference. UPI, Yekaterinburg, Dec. 14, 2009, p.41-46.
[26] ***Razeev DN.*** The problem of classification of sciences (phenomenological approach to the solution). Bulletin of St. Petersburg University. Series 6, 2010. No. 2, pp. 28-32.
[27] Explanatory dictionary of the Russian language: 72,500 words and 7,500 phraseological expressions [In Russian]. S.I. Ozhegov, N.Yu. Shvedova; Russian Academy of Sciences, Institute of Rus. lang., Russian Cultural Foundation. - 2nd ed., corrected. and additional. Moscow: Az, 1994. 907 p.
[28] Applied fuzzy systems [In Russian]. Ed. Tarano T, Asai K, Sugeno M. Transl. from Japanese lang. Moscow: Mir, 1993. 368 p.
[29] ***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.
[30] ***Dobrenkov VI, Kravchenko AI.*** Fundamental sociology [In Russian]. In 15 volumes. V.1. Theory and methodology. Moscow: INFRA-M, 2003. 908 p.
[31] ***Todosiychuk AV.*** On improving the legislative support of scientific, scientific, technical and innovative activities [In Russian]. Management of science and scientometrics. 2017; 4(26): 66-87.
[32] ***Borgest NM***. Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 35-50. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50..
[33] ***Robert IV.*** Development of informatization of education in the conditions of digital transformation [In Russian]. Pedagogy. 2022. V.86. No. 1. P.40-50.
[34] ***Robert IV.*** Formation and development of digital transformation of domestic education on the basis of systemic convergence of pedagogical science and technology. 03017 Published online: 26 April, 2021. DOI: https://doi.org/10.1051/shsconf/202110103017.
[35] ***Robert IV.*** Development of education during digitalization in the context of the axiological approach. In A.A. Arinushkina (Ed.), Advances in Education Research and Practice. Cham, Switzerland: Springer. 2021.
[36] ***Solovov AV.*** E-learning: problems, didactics, technology [In Russian]. Samara: New Engineering, 2006. 464 p.
[37] ***Golovastikov NV, Dorozhkin PS, Soifer VA***. Intelligent systems based on photonics [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(4): 422-436. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-422-436.
[38] ***Tkachenko IS.*** Analysis of key technologies for creating multisatellite orbital constellations of small spacecraft [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(4): 478-499. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-478-499.
[39] ***Soifer VA.*** Human fActor [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 11(1): 8-19. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
[40] ***Abdikeev NM, Kiselev AD.*** Corporate knowledge management and business reengineering [In Russian]. Moscow: INFRA-M, 2011. 382 p.

About the author

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev) in 1978, PhD (1985). He is a Associate Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Senior Research worker at ICCS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, a member of the Russian Association of Artificial Intelligence, a co-author of more than 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. AuthorID (RCI): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. *borgest@yandex.ru.*

Received June 10, 2022. Revised June 27, 2022. Accepted June 30, 2022.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.891.3:629.7.083 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171

Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники

© 2022, Н.О. Дородных, О.А. Николайчук ✉, А.Ю. Юрин

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация

В статье представлен метод создания прототипов баз знаний на основе шаблонов онтологического проектирования и таблиц решений. Метод содержит этапы: построение онтологии предметной области на основе онтологического шаблона содержания; формирование продукционной базы знаний на основе трансформации элементов онтологии предметной области; наполнение базы правил с использованием таблиц решений, а также их интерпретация и отладка. Разработан онтологический шаблон содержания, описывающий процесс технического обслуживания и ремонта согласно действующим стандартам. Трансформация онтологии в продукционную модель и генерация таблиц решений осуществлялись с использованием системы программирования продукционных баз знаний. С целью привлечения непрограммирующих конечных пользователей к процессу заполнения структур баз знаний конкретными правилами использован табличный редактор. Содержательная оценка полученной базы знаний осуществлена с использованием авторской программы-оболочки. Предложенные в работе метод и шаблон апробированы при решении задачи поиска причин неисправностей и формирования последовательности работ по техническому обслуживанию и ремонту системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

Ключевые слова: *шаблон проектирования онтологий, база знаний, таблицы решений, модельно-ориентированный подход, система электроснабжения, самолёт, техническое обслуживание и ремонт.*

Цитирование: *Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

Финансирование: Результаты получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки России по проекту «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения» (№ гос регистрации: 121030500071-2).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Онтологии широко используются как удобное средство представления знаний, а их разработка остаётся сложной и трудоёмкой задачей[1]. Для повышения эффективности данного процесса создаются и применяются различные подходы и инструменты, одним из которых являются шаблоны онтологического проектирования (*Ontology Design Pattern, ODP*) [2]. Этот подход позволяет снизить риск повторения ошибок проектирования за счёт использо-

вания типовых решений, представленных в виде шаблонов. Для их централизованного хранения и использования созданы специализированные каталоги шаблонов, которые в большинстве случаев ориентированы на конкретную предметную область (ПрО), не обладают полнотой и универсальностью, но могут быть полезны разработчикам в качестве источников предварительных решений или прототипов. Шаблоны можно разделить на шесть типов в соответствии с их назначением [2]: структурные, соответствия (реинжиниринг и согласование), содержания, обоснования, представления (присвоение имен и аннотирование) и лексико-синтаксические. Онтологические шаблоны содержания фиксируют приёмы концептуального проектирования, предоставляя решения для различных задач моделирования ПрО, и являются наиболее распространёнными.

Онтологии могут являться полезным источником информации о ПрО, как на терминологическом (*T-Box*), так и аксиоматическом (*A-Box*) уровнях при автоматизированном построении баз знаний (БЗ) интеллектуальных систем и генерации программных кодов. Решение подобной задачи требует согласования программных средств создания онтологий и БЗ, в частности, «по данным», т.е. на уровне форматов хранения и обработки данных.

В данной работе описан метод автоматизации создания продукционных БЗ, включающий: использование онтологического шаблона содержания для формирования онтологии ПрО; трансформацию полученной онтологии в продукционную модель; уточнение и наполнение построенной модели при помощи таблиц решений с последующей их интерпретацией или генерацией программных кодов. Для разработки онтологий и их шаблонов могут использоваться различные специализированные редакторы (например, *Protégé, OntoEdit, Menthor Editor*), позволяющие экспортировать результат в *OWL*-формат, который выбран в качестве исходного. Трансформация *OWL*-онтологии в продукционную модель и генерация таблиц решений осуществлялись с использованием системы программирования продукционных БЗ – *Personal Knowledge Base Designer* (*PKBD*) [3]. С целью привлечения непрограммирующих конечных пользователей к процессу заполнения структур БЗ конкретными правилами использован табличный редактор *Microsoft Excel*. Содержательная оценка полученной БЗ осуществлена с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop* [4].

Апробация метода осуществлена на примере решения задачи поиска причин неисправностей и формирования последовательности работ по техническому обслуживанию (ТО) и ремонту системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

1 Использование онтологий при создании БЗ: состояние вопроса

Повышение эффективности разработки БЗ является актуальной проблемой [5, 6]. Одной из тенденций в этой области является использование концептуальных моделей, включая онтологии и семантические сети [7-9], а также программных инструментов в виде фреймворков и специальных редакторов для онтологического моделирования (*Protégé, Ontolingua, DOE, Apollo, WebOnto* и др.), которые позволяют создавать графические модели, соответствующие знаниям экспертов в ПрО. Большинство инструментальных средств не охватывают все этапы создания БЗ и не обеспечивают полноту процесса разработки: от моделей ПрО до программных кодов, в некоторых случаях позволяют получать только графические артефакты структур БЗ без их исполнения (интерпретации). Здесь можно выделить *Protégé*, который позволяет генерировать код элементов БЗ, в частности, на *CLIPS/COOL*.

Актуальность разработки специализированного программного обеспечения подтверждается и другими примерами [10-16]. В [12] рассмотрено средство для разработки экспертных систем с использованием технологии *Semantic Web*, которая позволяет инженеру по знаниям и эксперту ПрО описывать её без знаний языков программирования. В [9] используется он-

тология для моделирования знаний ПрО, а правила принятия решений – для представления оперативных знаний, реализуя данный подход на основе объединения систем *Protégé* и *JESS*. В [13, 14] представлены инструментальные средства, обеспечивающие построение продукционных экспертных систем в области диагностики. В [15] описан процесс создания онтологии для представления знаний о диагностике заболеваний и синдромов, онтология реализована на облачной платформе *IACPaaS* и в настоящее время активно используется специалистами для создания БЗ в различных областях медицины.

Анализ этих и подобных исследований показал перспективность использования принципов когнитивного (визуального) моделирования и проектирования, а также подходов, реализующих трансформацию моделей, в частности, модельно-управляемого подхода [17, 18].

2 Метод создания БЗ

Предлагается развитие метода создания продукционных БЗ на основе онтологий и таблиц решений, основанный на трансформации моделей [19], который в обобщённом формальном виде может быть описан следующим выражением:

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

где *Ont* – онтологическая модель; *Code* – программный код, *T* – трансформация моделей.

Для рассматриваемого аспекта выражение (1) приобретает вид:

$$T: Ont^{OWL} \rightarrow Code^{KB},$$

где Ont^{OWL} – код на языке *OWL 2 DL*, описывающий онтологию ПрО, причём Ont^{OWL} создаётся на основе онтологического шаблона ODP^{OWL}, $Code^{KB}$ – программный код БЗ, записанный с использованием метода из [20].

Последовательность основных этапов метода создания БЗ представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Основные этапы метода создания БЗ, их результаты и инструментальные средства

1) *Построение онтологии на основе определённого онтологического шаблона*. Этап предполагает выбор конкретного шаблона ODP^{OW} из определённого множества онтологических шаблонов согласно решаемой задаче. Источник шаблонов не конкретизируется, как и среда моделирования, основное требование к которой – возможность представления

результата в формате *OWL 2 DL*. Используя определённый онтологический шаблон, производится формирование онтологии решаемой задачи путём определения эквивалентных понятий, подклассов и экземпляров, заданных в шаблоне классов.

2) *Формирование модели (структуры) продукционной БЗ*. Этап включает преобразование онтологической модели в элементы продукционной модели, в частности, шаблоны фактов. Преобразование моделей осуществляется с помощью модуля *PKBD.Onto*, устанавливающего соответствия между их элементами [21].
3) *Уточнение и наполнение продукционной БЗ*, включая доопределение продукционной модели. Для реализации действий этапа могут быть использованы возможности *PKBD* либо внешние табличные редакторы (например, *Microsoft Excel*) при условии использования таблиц решений в *CSV*-формате в качестве целевого формализма.
4) *Интерпретация, генерация и отладка* включает действия по оценке корректности (верификации и валидации) полученной БЗ, что может быть выполнено в *PKBD* либо с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop*, обеспечивающей интерпретацию таблиц решений в *CSV*-формате в контексте задач диагностики.

3 Онтологический шаблон ТО и ремонта

Согласно требованиям стандартов [22-24] определены основные понятия нового онтологического шаблона содержания, который описывает процесс ТО и ремонта, включающего отношения между объектом ТО и процессом, а также свойствами объекта и процесса. На рисунках 2 и 3 представлены фрагменты онтологического шаблона содержания для описания технического объекта (рисунок 2) и для описания процесса ТО (рисунок 3).

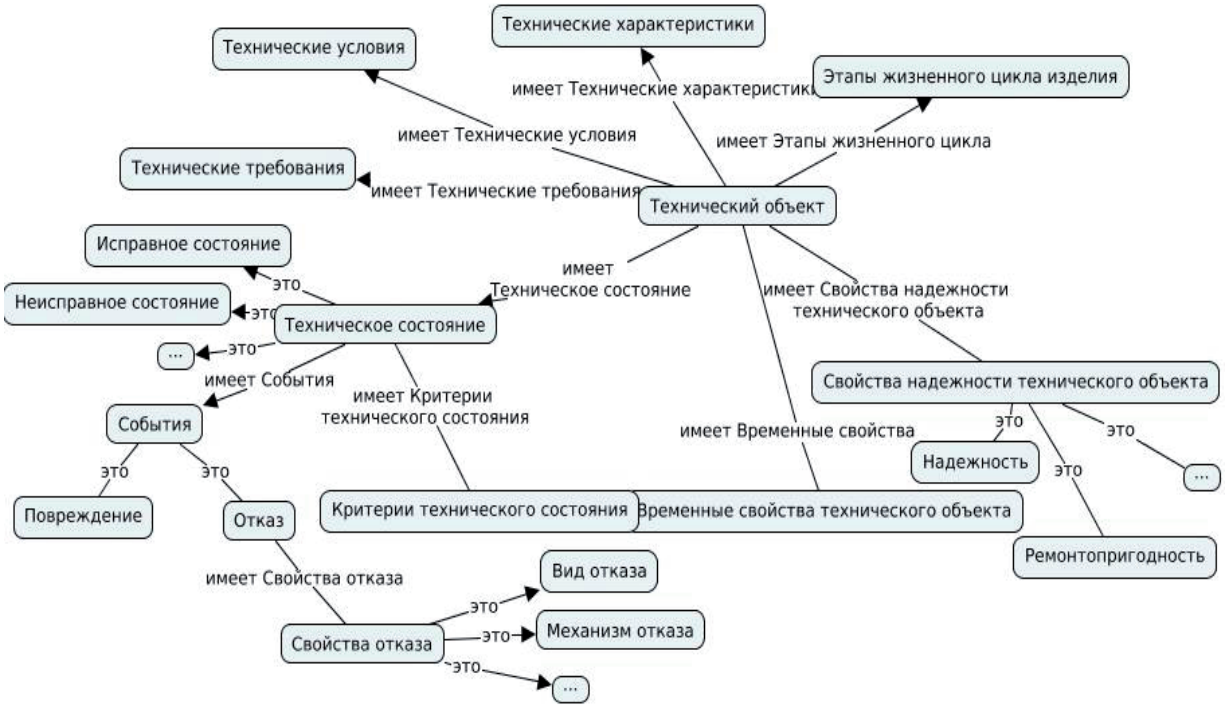


Рисунок 2 – Фрагмент онтологического шаблона содержания для описания технического объекта

Полученный онтологический шаблон ТО и ремонта является основой для разработки онтологий конкретных ПрО, где решаются задачи диагностирования, ТО, ремонта и т.п.

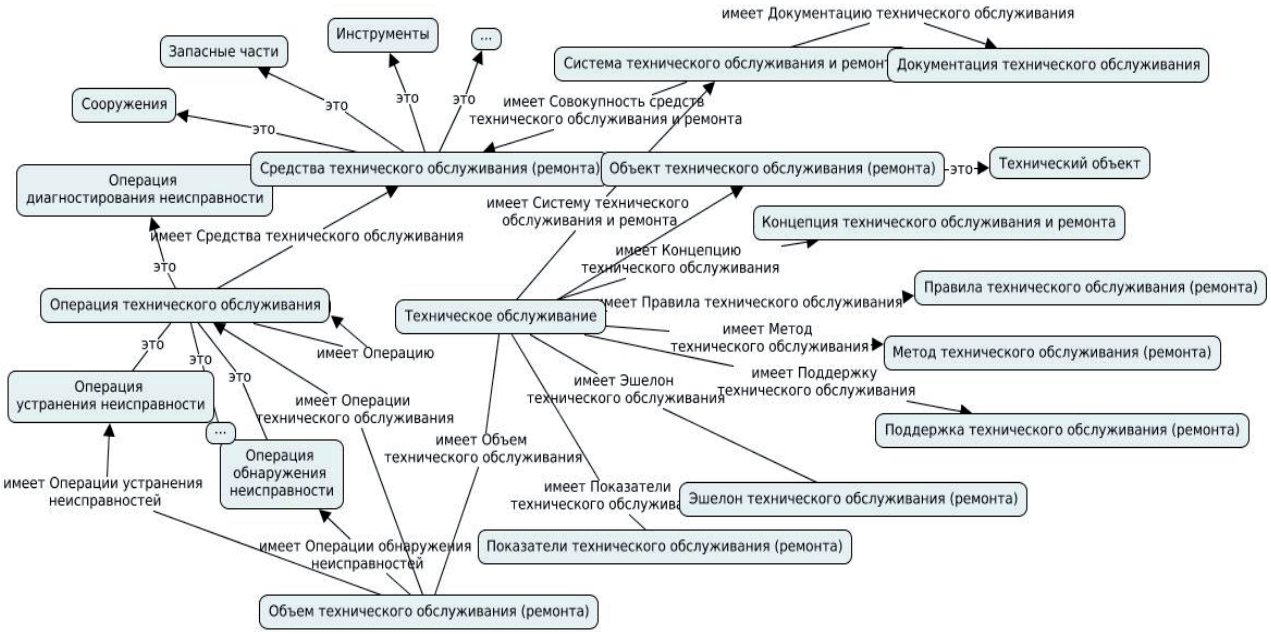


Рисунок 3 – Фрагмент онтологического шаблона содержания для описания процесса ТО и ремонта

4 Онтология ТО и ремонта системы электроснабжения самолёта

Апробация разработанных онтологических шаблонов осуществлена при разработке онтологии для решения задач поддержки принятия решений при ТО и ремонте системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

Анализ ПрО осуществлен на основе следующей документации: руководство по технической эксплуатации (РЭ) и руководство по поиску и устранению неисправностей (РУН) самолёта. РЭ описывает информацию по процессам обслуживания, замены, регулировки, осмотра и проверки оборудования систем самолёта, выполняемым на перроне или в ангаре ТО. РЭ содержит также информацию об осмотрах и ТО конструкции планера самолёта и описание процедур планового ТО самолёта. РУН описывает возможные отказы и неисправности, последовательности действий и работ по их выявлению и устранению по каждой системе самолёта. Анализ ПрО был выполнен для системы электроснабжения самолета, где рассмотрены неисправности 7 подсистем.

На основе онтологического шаблона проектирования разработан фрагмент онтологии ТО и ремонта генератора левого двигателя самолёта. Описаны синонимы ПрО, определены структура объекта и работы по обслуживанию генератора левого двигателя самолёта.

Использование данного шаблона при разработке онтологии позволило сократить трудозатраты на её создание, связанные с систематизацией основных понятий ПрО, в данном случае – структуры и основных свойств операций, их классификации. При проектировании онтологии внимание было сосредоточено на детализации и конкретизации созданных классов и понятий. В таблице 1 на фрагментах онтологии представлены дополнения причин отказов и работ по поиску и устранению неисправностей.

Для детализации информации о структуре объекта использована иерархия типа «общее-частное» для описания иерархии систем, подсистем и под-подсистем по их назначению. Пример реализации онтологии для системы электроснабжения самолёта показан на рисунке 4. На основе иерархии «общее-частное» описана иерархия типа «часть-целое» с использованием соответствующих объектных свойств: имеет подсистемы, имеет под-подсистемы. Фрагмент онтологии представлен на рисунке 5.

Таблица 1 – Фрагмент онтологии ПрО, сформированной на основе онтологического шаблона содержания

Фрагмент онтологического шаблона		Итоговый фрагмент онтологии предметной задачи
исходный	с эквивалентными понятиями ПрО	
Свойства отказа Признаки отказа Вид отказа Критерии отказа Критичность отказа Механизм отказа Последствия отказа Причина отказа	Свойства отказа Вид отказа Возможные причины Критерии отказа Критичность отказа Механизм отказа Последствия отказа Признаки неисправности Признаки отказа Причина отказа	Свойства отказа Вид отказа Возможные причины Критерии отказа Критичность отказа Механизм отказа Последствия отказа Признаки неисправности Признаки отказа Причина отказа Причины отказа самолета Возможные причины РУН – Система электроснабжения Возможные причины РУН – Система Привод-Генера Возможные причины РУН – Отказ привод-генера
Операции Операции технического обслуживания и ремонта Операции демонтожа и монтожа Операции диагностирования неисправности Операции контроля функционирования Операции локализации неисправности Операции обнаружения неисправности Операции обслуживания Операции общего обслуживания Операции по регулировке и испытаниям Операции устранения неисправности	Работы Классы по функциональному коду_Работы Осмотр и проверка_Работы Очистка и окраска_Работы Техническая эксплуатация_Работы Техническое обслуживания и ремонт_Работы Операции по регулировке и испытаниям Операции демонтожа и монтожа Демонтаж и монтаж_Работы Обслуживание_Работы Общее обслуживание_Работы Поиск и устранение неисправностей (структу Регулировка и испытание_Работы Состав работ по устранению неисправностей Текущий ремонт_Работы	Поиск и устранение неисправностей (структурная классификация)_Работы РУН_Проверка отсутствия признаков неисправности РУН_Система электроснабжения РУН_Аварийная система постоянного тока РУН_Вспомогательная система переменного тока РУН_Основная система переменного тока РУН_Основная система постоянного тока РУН_Проверка электропроводки РУН_Ремонт электропроводки РУН_Система подключения потребителей переменного тока РУН_Система подключения потребителей постоянного тока РУН_Система Привод-Генератора

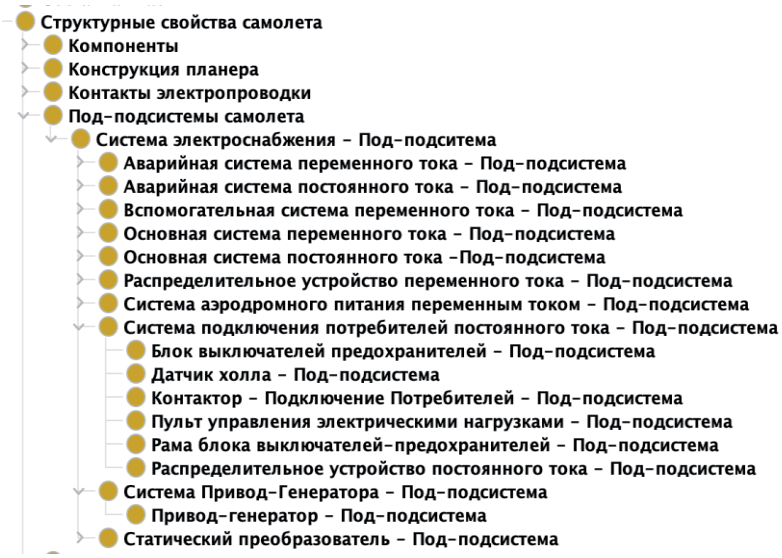


Рисунок 4 – Понятия, отражающие перечень под-подсистем системы электроснабжения

Онтология работ (операций) также описывает иерархию «общее-частное» и «часть-целое». В первом случае использованы различные основания классификации: по назначению, по функциональному коду, классификация работ согласно структуре объекта, по виду работ с точки зрения выполняемых процессов: техническая эксплуатация, ТО, ремонт и устранение неисправностей. Второй тип отношений позволяет описать структуру работ. Например, устранение неисправностей содержит работы, группируемые по этапам процесса выполнения работы: подготовительный этап, подтверждение неисправности, поиск и устранение неисправности, подтверждение устранения неисправности и заключительный этап. Тип отношений «часть-целое» описан с помощью объектных свойств: имеет подготовительные работы, имеет заключительные работы, имеет работы по подтверждению, поиску и устранению неисправностей и др.

Рисунок 5 – Фрагмент онтологии, отражающей систему электроснабжения

Дальнейшее описание детализирует различные свойства работ и их отношения. В частности, работы по поиску и устранению неисправностей включают: работы подготовительные, подтверждающие неисправность и др., номер работы, перечень признаков неисправностей, возможные причины отказа и т.д. Пример детализированной структуры работы представлен на рисунке 6.

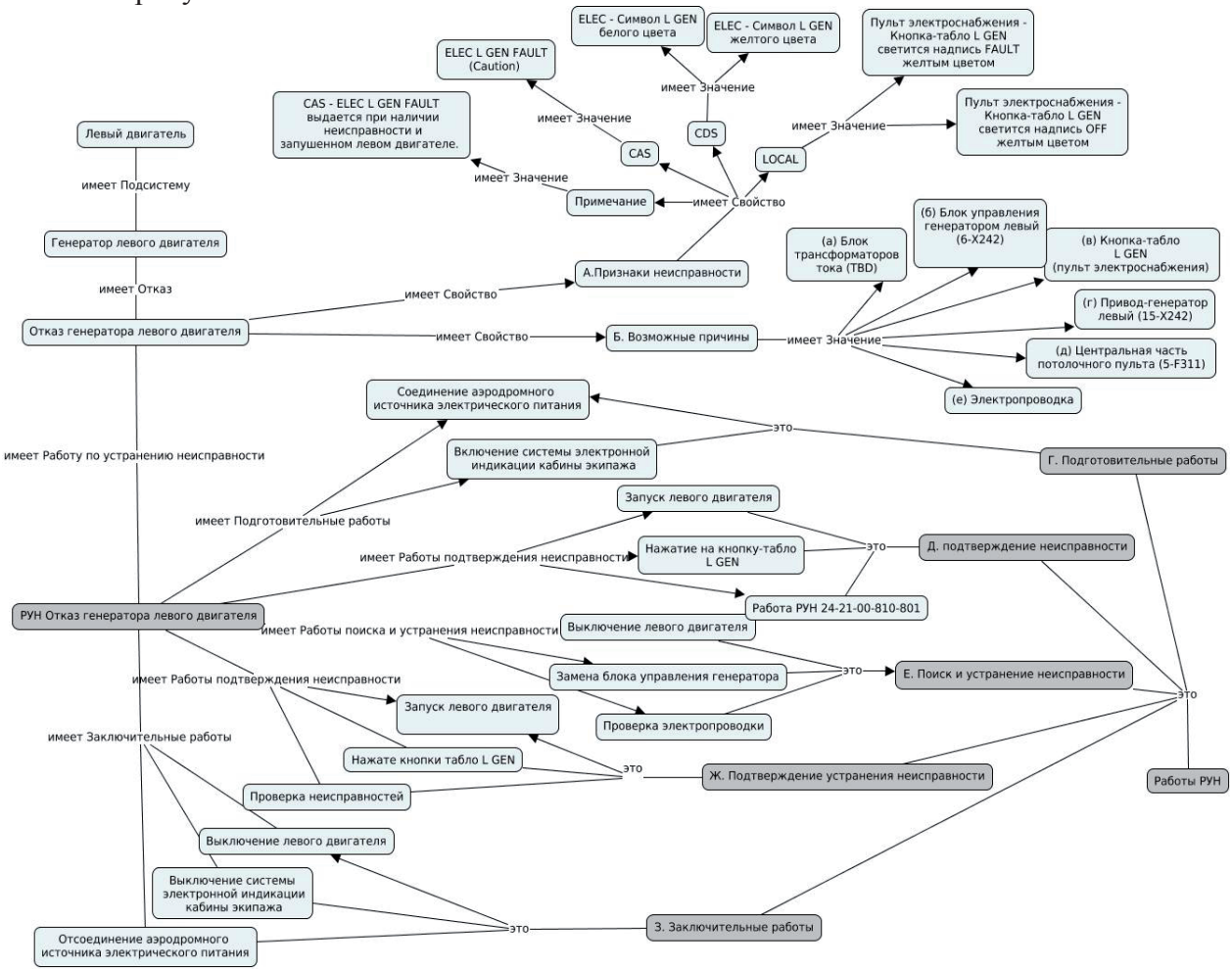


Рисунок 6 – Детализированная структура работы «Отказ генератора левого двигателя»

5 Формирование таблиц решений на основе онтологии

Онтологическая модель позволяет автоматизировать процесс создания БЗ на основе трансформации моделей. В качестве интуитивно понятного способа описания действий, выполняемых при различных комбинациях условий, использованы таблицы решений (*decision tables*), как один из вариантов отображения логических правил.

Таблицу решений можно представить в виде следующей структуры:

M^{DT}= (*Conditions, Actions*), где *Conditions, Actions* – множества понятий ПрО, их свойств (слотов) и ограничений на значения этих свойств, представленных в виде шаблонов фреймов $f_{ic}, f_{ia} \in f$:

$Conditions = \{f_{ic}\}$, $Actions = \{f_{ia}\}$, $f = \{(slot_name_i, slot_type_i, value_constraint_i)\}$, $i = 1..N$.

В дальнейшем для обозначения слота фрейма использована сокращенная запись *frame_name*::*slot_name.*

В качестве примера созданы таблицы решений для определения причин неисправности (отказа) и для формирования последовательности работ по её устранению.

Для определения причин неисправностей необходима онтологическая модель понятия «отказ» (см. рисунок 7), которая включает понятия, условия и действия:

Conditions = {*признаки отказа::CAS, признаки отказа::CDS, признаки отказа::LOCAL*},

Actions = {*отказ::наименование, отказ::возможные причины, система::наименование, подсистема::наименование, под-подсистема::наименование*} И {*работа::тип_РУН, работа::номер, работа::содержание, работа::документация, статус::выполнение*}.

Для определения последовательности работ необходимы следующие элементы таблицы решений:

$Conditions_1$ = {*признаки отказа::CAS, признаки отказа::CDS, признаки отказа::LOCAL*},

$Actions_1$ = {*работа::номер, работа::содержание, статус::выполнение*},

$Conditions_2$ = {*отказ::наименование (работа_РУН::номер), работа::номер, работа::содержание, работа::результат, статус::выполнено*},

$Actions_2$ = {*работа::номер, работа::содержание, статус::выполнение*}.

Рисунок 7 – Модель понятия «отказ» (CAS, CDS, LOCAL – элементы системы электронной индикации)

Возможные значения элементов таблицы (значения слотов фреймов) формируются на основе анализа содержания онтологии. В частности, указанные подклассы, экземпляры классов и значения свойств определяют множество значений условий и действий таблиц решений. Например, если в онтологии выделена работа «Отказ генератора левого двигателя или отключён генератор левого двигателя», то все определённые в онтологии подклассы данной работы будут являться справочником при заполнении таблицы решений при определении значений слотов *работа::содержание*, *работа::номер* и др.

6 Полученные результаты

1) Построена онтология на основе рассмотренного в разделе 3 онтологического шаблона содержания, который детализирован на основе информации о ТО и ремонте генератора левого двигателя. Оба этапа могут быть выполнены с использованием редакторов онтологий, например, *Protégé*. Фрагмент онтологии описан в разделе 4.
2) Сформирована модель (структура) продукционной БЗ. С использованием *PKBD.Onto* выполнено преобразование онтологии. В частности классам (*Class*) ставятся в соответствие шаблоны фактов (*Template*), а свойствам данных (*DataProperty*) – слоты (*Slots*).
3) Уточнение и наполнение продукционной БЗ осуществлено с использованием *Microsoft Excel*, для чего модель продукций представлена в форме таблиц решений, структура которых описана в разделе 5. Пользователь формирует конкретные правила, описывающие последовательность операций устранения отказа генератора левого двигателя, с использованием шаблонов фактов, полученных из онтологии. Для устранения отказа генератора левого двигателя создано 36 правил. Примеры полученных таблиц приведены на рисунке 8.

	E	J	K
1	Признаки отказа::LOCAL	Подсистема::Наименование	Отказ::Возможные причины
59	Кнопка-табло R GEN светится надпись OFF белым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)
60	Кнопка-табло R GEN светится надпись OFF белым цветом	Основная система переменного тока	Электропроводка
61	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок трансформаторов тока (TBD)
62	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок управления генератором левый (6-X242)
63	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Кнопка-табло L GEN (пульт электроснабжения)
64	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Привод-генератор левый (15-X242)
65	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)
66	Кнопка-табло L GEN светится надпись FAULT желтым цветом	Основная система переменного тока	Электропроводка
67	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Блок управления генератором левый (6-X242)
68	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Кнопка-табло L GEN (пульт электроснабжения)
69	Кнопка-табло L GEN светится надпись OFF желтым цветом	Основная система переменного тока	Центральная часть потолочного пульта (5-F311)

	A	F	G
1	Признаки отказа::CAS	Работа::Содержание	Работа::Результат
135	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Подсоедините аэродромный источник электрического питания (см. работу РЭ 24-41-00- 860-801)	выполнено как подготовительная работа
136	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните включение системы электронной индикации кабины экипажа (см. работу РЭ 31-61-00-860-801)	выполнено как подготовительная работа
137	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Запустите левый двигатель в автоматическом режиме (см. работу РЭ 71-00-00-800-802)	выполнено для подтверждения неисправности
138	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Нажмите кнопку-табло L GEN, если она отжата	выполнено для подтверждения неисправности
139	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните выключение левого двигателя (штатное) (см. работу РЭ 71-00-00-800- 805)	выполнено
140	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Замените блок управления генератором левый (6-X242) (см. работу РЭ 24-22-01- 900-801)	выполнено
141	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Запустите левый двигатель в автоматическом режиме (см. работу РЭ 71-00-00-800-802)	выполнено
142	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и привод-г	есть неисправность в электропроводке
143	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и привод-г	выполнено
144	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и контакте	есть неисправность в электропроводке
145	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и контакте	выполнено
146	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и кнопкой-	есть неисправность в электропроводке
147	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и кнопкой-	выполнено
148	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и корпусо	есть неисправность в электропроводке
149	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между привод-генератором левого двигателя (15-X242) и корпусо	выполнено
150	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и контакте	есть неисправность в электропроводке
151	ELEC L GEN FAULT (Caution)	Выполните проверку электропроводки: между блоком управления генератором левым (6-X242) и контакте	выполнено

Рисунок 8 – Примеры фрагментов таблиц решений

4) Интерпретация, генерация и отладка осуществлены с использованием программы-оболочки *iDSS.Desktop*, обеспечивающей интерпретацию таблиц решений в *CSV*-формате в контексте задач диагностики с целью проверки созданной БЗ. Экранная форма, содержащая результаты работы программы, показана на рисунке 9.

В результате использования данной БЗ экспертная система обеспечивает формирование последовательности операций, выполнение которой необходимо для устранения отказа (неисправности) системы электроснабжения воздушного судна.

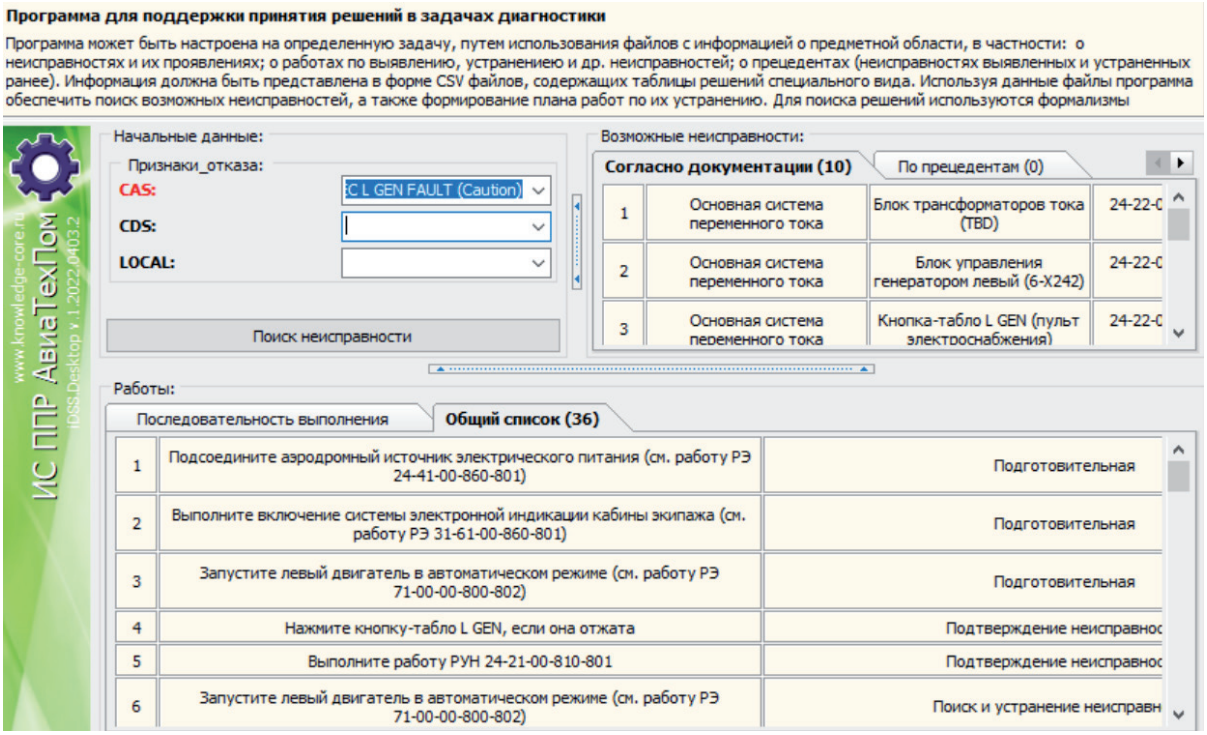


Рисунок 9 – Результат интерпретации полученных таблиц решений в *iDSS.Desktop*

Заключение

Представлен метод создания БЗ на основе использования онтологических шаблонов содержания и таблиц решений, предполагающий использование как специализированного инструментария, обеспечивающего трансформацию онтологий и интерпретацию таблиц решений, так и табличного редактора *Microsoft Excel* для наполнения структур БЗ. Разработан содержательный онтологический шаблон ТО и ремонта, соответствующий требованиям действующих стандартов, который использован при поиске и устранении неисправностей системы электроснабжения самолёта Сухой Суперджет 100.

Список источников

[1] ***Guarino N.*** Formal Ontology in Information Systems // In: Processing of the First International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98), 1998. Vol. 46. P.3–15.

[2] ***Hitzler P., Gangemi A., Janowicz K., Krisnadhi A.A., Presutti V.*** Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications. Studies on the Semantic Web. IOS Press/AKA, 2016.

[3] ***Дородных Н.О., Грищенко М.А., Юрин А.Ю.*** Система программирования продукционных баз знаний: Personal Knowledge Base Designer // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2016. № 6. С.209-212.

[4] ***Юрин А.Ю., Дородных Н.О.*** iDSS.Desktop // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. М. Рег. № 2022617130 от 19.04.22.

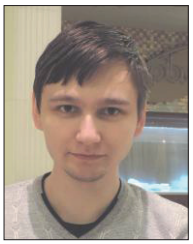
[5] ***Luger G.F.*** Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th ed. New York: Addison-Wesley, 2008.

[6] ***Wagner W.P.*** Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies // Expert Systems With Applications. 2017. Vol. 76. P.85-96.

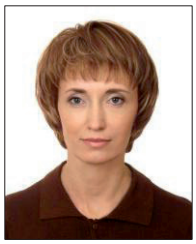
[7] ***Corsar D., Sleeman D.H.*** Developing Knowledge-Based Systems using the Semantic Web // In: Proc. of the 2008 International Conference on Visions of Computer Science: BCS International Academic Conference, 2008. P.29-40.

[8] ***Rajput Q., Khan N.S., Larik A. Haider S.*** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection // Computer and Information Science. 2014. Vol. 7(1). P.103-114.
[9] ***Shue L., Chen C., Shiue W.*** The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36. P.2130-2142.
[10] ***Sahin S., Tolun M.R., Hassanpour R.*** Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications // In: Expert Systems with Applications. 2012. Vol. 39(4). P.4609-4617.
[11] ***Rybina G.V., Rybin V.M., Blokhin Y.M., Parondzhanov S.S.*** Intelligent Programm Support for Dynamic Integrated Expert Systems Construction," Procedia Computer Science. In proc. of the 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2016. Vol. 88. P.205-210.
[12] ***Nofal M., Fouad K.M.*** Developing Web-Based Semantic Expert Systems // International Journal of Computer Science. 2014. Vol. 11(1). P.103-110.
[13] ***Kadhim M.A., Alam M.A., Kaur H.*** Design and implementation of Intelligent Agent and Diagnosis Domain Tool for Rule-based Expert System // In: Proc. of the International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, 2013. P.619-622.
[14] ***Берман А.Ф.*** Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 3. С.17-37.
[15] ***Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.*** Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Онтология проектирования. 2018. Т.8. №1(27). С.58-73.
[16] ***Golenkov V.V.*** Ontology-based Design of Intelligent Systems // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2017. № 7. С.37-56.
[17] ***Cretu L.G., Florin D.*** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press, 2014.
[18] ***da Silva A.R.*** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model // Computer Languages, Systems & Structures. 2015. Vol. 43. P.139-155.
[19] ***Грищенко М.А., Дородных Н.О., Коршунов С.А., Юрин А.Ю.*** Разработка интеллектуальных диагностических систем на основе онтологий // Онтология проектирования. 2018. Т.8. № 2(28). С.265-284.
[20] ***Грищенко М.А., Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.*** Применение модельно-управляемого подхода для создания продукционных экспертных систем и баз знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 2. С.16-29.
[21] ***Дородных Н.О., Видия А.В., Юрин А.Ю.*** Разработка схем онтологий на основе преобразования электронных таблиц // Программные продукты и системы. 2021. № 1. С. 124-131.
[22] ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2009.
[23] ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2017.
[24] ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. Издательское оформление. М.: Стандартинформ, 2017.

Сведения об авторах



Дородных Никита Олегович, 1990 г. рождения. Окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНИТУ) (2012), к.т.н. (2018). Старший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (ИДСТУ СО РАН). В списке научных трудов около 70 работ в области автоматизации создания интеллектуальных систем и баз знаний, получения знаний на основе преобразования концептуальных моделей и электронных таблиц. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. *tualatin32@mail.ru.*



Николайчук Ольга Анатольевна, 1967 г. рождения. Окончила Иркутский государственный университет (1989), д.т.н. (2011). Ведущий научный сотрудник ИДСТУ СО РАН, доцент. Руководитель Иркутского отделения РАИИ. В списке научных трудов около 160 работ в области моделирования технических систем, разработки методов и инструментальных средств создания интеллектуальных систем. ORCID: 0000-0002-5186-0073; Author ID (РИНЦ): 100081; Author ID (Scopus): 16309876600; Researcher ID (WoS): A-3315-2014. *nikoly@icc.ru.* ✉.

Юрин Александр Юрьевич, 1980 г. рождения. Окончил ИрНИТУ (2002), к.т.н. (2005). Заведующий лабораторией информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности ИДСТУ СО РАН, доцент Института информационных технологий и анализа данных ИрНИТУ. Член РАИИ и Ассоциации вычислительной техники. Член редколлегии международного научного журнала «Computer, Communication & Collaboration». В списке научных трудов более 100 работ в области разработки систем поддержки принятия решений, экспертных систем и баз знаний, использования семантических технологий при проектировании интеллектуальных диагностических систем. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. *iskander@icc.ru.*

Поступила в редакцию 30.05.2022. Принята к публикации 27.06.2022.

CC BY

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171

Using ontological content patterns in knowledge base engineering for maintenance and repair of aviation equipment

© 2022, N.O. Dorodnykh, O.A. Nikolaychuk ✉, A.Yu. Yurin

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory (ISDCT) of Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

Abstract

The article presents a method for creating knowledge base prototypes based on ontological design patterns and decision tables. The method contains the following steps: building an ontology of the subject area based on the ontological template of the content; formation of a production knowledge base based on the transformation of elements of the ontology of the subject area; filling the rule base using decision tables, as well as their interpretation and debugging. An ontological content template has been developed that describes the maintenance and repair process in accordance with current standards. The transformation of the ontology into a production model and the generation of decision tables were carried out using a programming system for production knowledge bases. In order to involve non-programming end users in the process of filling knowledge base structures with specific rules, a spreadsheet editor was used. A meaningful assessment of the obtained knowledge base was carried out using the author's shell program. The method and template proposed in the paper were tested in solving the problem of finding the causes of malfunctions and forming a sequence of maintenance and repair of the power supply system of the Sukhoi Superjet 100 aircraft.

Key words: *ontology design pattern, knowledge base, decision tables, model-based approach, aircraft, power supply system, maintenance and repair.*

For citation: *Dorodnykh NO, Nikolaychuk OA, Yurin AY.* Using ontological content patterns engineering for formalize the process of maintenance and repair of critical objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

Financial Support: The present study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project no. 121030500071-2 "Methods and technologies of a cloud-based service-oriented platform for collecting, storing and processing large volumes of multi-format interdisciplinary data and knowledge based upon the use of artificial intelligence, model-driven approach and machine learning").

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and table

Figure 1 - The main stages of the knowledge base creation method, their results and tools
Figure 2 - A fragment of the ontological content pattern for describing a technical object
Figure 3 - A fragment of the ontological content pattern for describing the process of maintenance and repair
Figure 4 - Concepts reflecting the list of sub-subsystems of the power supply system
Figure 5 - A fragment of an ontology reflecting the power supply system

Figure 6 - Detailed structure of the work "Failure of the generator of the left engine"
Figure 7 - Model of the concept of "failure" (CAS, CDS, LOCAL - elements of the electronic indication system)
Figure 8 - Decision Table Fragment Examples
Figure 9 - The result of interpretation of the obtained decision tables in iDSS.Desktop
Table 1 - A fragment of the ontology of the subject area formed on the basis of ontological content pattern

References

[1] ***Guarino N.*** Formal Ontology in Information Systems. In: Processing of the First International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98). 1998; 46: 3–15.

[2] ***Hitzler P, Gangemi A, Janowicz K, Krisnadhi AA, Presutti V.*** Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications. Studies on the Semantic Web. IOS Press/AKA, 2016.

[3] ***Dorodnykg NO, Grishchenko MA, Yurin AYu.*** Production knowledge base programming system: Personal Knowledge Base Designer [In Russian]. Open semantic technologies for designing intelligent systems. 2016; 6: 209-212.

[4] ***Yurin Ayu, Dorodnykg NO.*** iDSS.Desktop. Certificate of state registration of the computer program [In Russian]. Moscow. Рег. № 2022617130, 19.04.22.

[5] ***Luger GF.*** Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving, 6th ed. New York: Addison-Wesley, 2008.

[6] ***Wagner WP.*** Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies. Expert Systems With Applications, (accepted) Doi: 10.1016/j.eswa.2017.01.028.

[7] ***Corsar D, Sleeman DH.*** Developing Knowledge-Based Systems using the Semantic Web. In: Proc. of the 2008 International Conference on Visions of Computer Science: BCS International Academic Conference, 2008: 29-40.

[8] ***Rajput Q, Khan NS, Larik A, Haider S.*** Ontology Based Expert-System for Suspicious Transactions Detection. Computer and Information Science. 2014; 7(1): 103-114.

[9] Shue L., Chen C., Shiue W. The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating. Expert Systems with Applications, 36, 2130-2142, 2009.

[10] ***Sahin S, Tolun MR, Hassanpour R.*** Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications. Expert Systems with Applications. 2012; 39(4): 4609-4617.

[11] ***Rybina GV, Rybin VM, Blokhin YM. Parondzhanov SS.*** Intelligent Programm Support for Dynamic Integrated Expert Systems Construction. Procedia Computer Science. In: Proc. of the 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, vol. 88, 2016: 205-210.

[12] ***Nofal M, Fouad KM.*** Developing Web-Based Semantic Expert Systems. International Journal of Computer Science. 2014; 11(1): 103-110.

[13] ***Kadhim MA, Alam MA, Kaur H.*** Design and implementation of Intelligent Agent and Diagnosis Domain Tool for Rule-based Expert System. In: Proc. of the International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement; 2013: 619-622.

[14] ***Berman AF.*** Informatics of disasters [In Russian]. Problems of safety and emergency situations. 2012; 3: 17-37.

[15] ***Gribova VV, Petryaeva MV, Okun DB, Shalfeeva EA.*** Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(1): 58-73.

[16] ***Golenkov V.V.*** Ontology-based Design of Intelligent Systems // Open semantic technologies for designing intelligent systems. 2017; 7: 37-56.

[17] ***Cretu LG, Florin D.*** Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press, 2014.

[18] ***da Silva AR.*** Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. Computer Languages, Systems & Structures. 2015; 43: 139-155.

[19] ***Grishchenko MA, Dorodnykg NO, Korshunov SA, Yurin AYu.*** Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. Ontology of Designing. 2018; 2(28): 265-284.

[20] ***Grishchenko MA, Dorodnykg NO, Nikolaychuk OA, Yurin AYu.*** Application of the model-driven approach to creation of production expert systems and knowledge bases [In Russian]. Artificial intelligence and decision making. 2016; 2: 16-29.

[21] ***Dorodnykh NO, Vidia AV, Yurin AYu.*** Developing ontology schemas based on spreadsheet transformation [In Russian]. Software & Systems. 2021; 1: 124-131.

[22] GOST 20911-89. Technical diagnostics. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2009.

[23] GOST 18322-2016. Maintenance and repair system of engineering. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2017.
[24] GOST 27.002-2015. Dependability in technics. Terms and definitions. [In Russian]. Moscow: Russian scientific and technical information center for standardization, metrology and conformity assessment, 2017.

About the authors

Nikita Olegovych Dorodnykh (b. 1990) graduated from INRTU in 2012, PhD (2018). He is a senior associate researcher at ISDCT SB RAS. Co-author of about 70 publications in the field of computer-aided development of intelligent systems and knowledge bases, knowledge acquisition based on the transformation of conceptual models and tables. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. *tualatin32@mail.ru.*

Olga Anatolyevna Nikolaychuk (b. 1967) graduated from the ISU in 1989, D. Sc. Eng. (2011). She is a leading researcher at ISDCT SB RAS, associate Professor. She is a member of Russian Association of Artificial Intelligence. She is a co-author of more than 160 publications in the field of modeling technical systems, development of methods and tools for creating intelligent systems. ORCID: 0000-0002-5186-0073; Author ID (РИНЦ): 100081; Author ID (Scopus): 16309876600; Researcher ID (WoS): A-3315-2014. *nikoly@icc.ru.* ✉.

Alexander Yurievich Yurin (b.1980) graduated from the INRTU in 2002, PhD (2005). He is the Head of the "Information and telecommunication technologies for investigation of natural and technogenic safety" laboratory at ISDCT SB RAS and associate professor of the Institute of information technologies and data analysis of INRTU. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI) and Association for Computing Machinery (ACM). He is a member of the Editorial Board of the international scientific journal “Computer, Communication & Collaboration”. The list of scientific works includes more than 100 scientific papers in the field of development of decision support systems, expert systems and knowledge bases, application of the case-based reasoning and semantic technologies in the design of diagnostic intelligent systems, maintenance of reliability and safety of complex technical systems. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. *iskander@icc.ru.*

Received May 30, 2022. Accepted June 27, 2022.

УДК 004.946:004.4’2 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-172-185

Комплекс онтологий для виртуальных тренажёров с биологической обратной связью

© 2022, В.В. Грибова[1,2], В.О. Стрекалёв[1]✉,

[1] *Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия*

[2] *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

Аннотация

В настоящее время активно разрабатываются и внедряются виртуальные тренажёры для решения задач широкого профиля, особое место среди них занимают решения, построенные на основе виртуальной реальности и биологической обратной связи. Использование онтологического подхода и семантического представления информации позволяет оптимизировать процессы обработки, хранения, поиска и анализа данных на всех этапах жизненного цикла виртуальных тренажёров. Представлены основные принципы создания виртуальных тренажёров с биологической обратной связью, которые используются для их создания и сопровождения. Практическое применение виртуальных тренажёров требует описания виртуальной среды, создания сценария работы и управления им на основе индивидуальных параметров пользователя. Предложен комплекс онтологий для виртуальных тренажёров с биологической обратной связью, который состоит из онтологии виртуальной среды, онтологии исследований, онтологии карты пользователя, онтологии оборудования и онтологии знаний о состояниях пользователя. Показано, что применение данного комплекса онтологий позволяет снизить трудозатраты при проектировании виртуальных тренажёров и сформировать информационное представление разрабатываемых решений, упростить создание и внесение изменений. Приведён пример виртуального тренажёра для выполнения работ на высоте, с помощью которого можно провести тестирование человека на акрофобию и профилактику тревожных расстройств с возможностью изменения параметров виртуальной среды в зависимости от состояния пользователя.

Ключевые слова: *комплекс онтологий, виртуальная реальность, виртуальный тренажёр, биологическая обратная связь, инструментальный комплекс, виртуальная среда.*

Цитирование*: *Грибова В.В., Стрекалёв В.О. Комплекс онтологий для виртуальных тренажёров с биологической обратной связью // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С. 172-185. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-172-185.

***Финансирование*:** Работа выполнена при частичной финансовой поддержке фонда содействия инновациям, договор 269ГУЦЭС8-D3/56658, грант РФФИ 20-07-00670.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В настоящее время в мире активно применяются информационные технологии для решения различных профессиональных задач и формирования профессиональных компетенций. Особое место среди них занимают системы, построенные на основе виртуальной реальности (ВР) и биологической обратной связи (БОС), которые используются при создании симуляторов, обучающих тренажёров и других систем. Виртуальные тренажёры (ВТ) позволяют создать широкий набор ситуаций для отработки профессиональных навыков в различных областях: научных исследованиях, бизнес-проектах, спортивных мероприятиях, медицине, строительстве, сфере развлечений и др. [1, 2]. Они имеют широкое применение в обучении. С учётом развития информационных систем и технологий стало возможно реализовывать ВТ, которые сходны с реальными ситуациями по визуализации и восприятию человеком [3]. Разра-

ботка ВТ и систем с БОС является сложной задачей из-за трудоёмкости проектирования, сопровождения и управления. Существующие средства для их разработки ориентированы на высококвалифицированных программистов. Несмотря на то, что основу таких систем составляют предметные знания, включение экспертов как полноправных разработчиков не представляется возможным, а сами предметные знания встроены в код программной системы.

С помощью компьютерных тренажёров [4], обучающиеся могут получить практические навыки в виртуальной среде (ВС) до начала реальной работы, имея возможность «проиграть» различные сценарии возможных ситуаций. Пользователь может виртуально опробовать и проверить свои навыки, наглядно увидеть, какие ошибки он допускал и какие действия делал правильно; посмотреть на себя «со стороны» и оценить, как надо выполнять необходимые действия. Способ адаптации интерактивной электронной среды к особенностям пользователя (знания, навыки, сенсорика, моторика и др.), позволяющий повысить эффективность взаимодействия пользователя с прикладной системой, ориентированной на решение определённого класса задач предложен в [5].

В работе [6] дан детальный обзор состояния исследований в области ВТ и БОС, рассмотрены решения, позволяющие произвести автоматизацию разработки ВТ, управления ими, оценки действий пользователя, включения в процесс разработки экспертов предметной области.

Целью данной статьи является описание концепции инструментального комплекса для создания, воспроизведения и сопровождения ВТ с БОС и онтологий, входящих в состав программного обеспечения ВТ с БОС.

1 Основные принципы создания ВТ с БОС

Для создания, эксплуатации и сопровождения ВТ с БОС - требуется описание ВС, формирование сценария работы, внесение изменений в тренажёр и т.д. В ВТ с БОС основную роль играет информационное наполнение разрабатываемого тренажёра, в котором сосредоточены ключевые процессы, связанные с описанием и подготовкой ВС.

При функционировании ВТ с БОС используется специализированное оборудование, такое как оборудование ВР и оборудование БОС [7], что создаёт дополнительные сложности, связанные с передачей и хранением данных. Используя ВР, можно произвести воздействие на человека через ощущения (зрительные, слуховые, обонятельные, осязательные и др.) с целью вызвать ответные реакции [8]. С помощью БОС можно описать информацию о состояниях человека, которую в дальнейшем можно использовать в процессе функционирования тренажёра [9].

Под ВТ с БОС понимается программно-аппаратный комплекс с оборудованием ВР и БОС, позволяющий моделировать различные реальные или вымышленные ситуации, проводить визуализацию искусственного окружения с возможностью взаимодействия и управления элементами ВС на основе данных о состоянии человека и объектов. В основу программно-аппаратного комплекса положены следующие *ключевые принципы*:

- включение в процесс разработки ВТ специалистов разных профилей (экспертов предметной области, экспертов БОС, дизайнеров, программистов), разделение компетенций между ними с предоставлением средств разработки, ориентированных на их специализацию;
- обеспечение специализации средств разработки (и разделение компетенций) через соответствующие онтологии, которые отражают существенные для ВТ с БОС свойства его функционирования и управления, и редакторы, управляемые онтологиями;

- формирование модели ВТ с БОС как совокупности связанных компонентов, каждый из которых формируется на основе онтологии;
- разработка системы управления - программного модуля, обеспечивающего запуск ВТ с БОС, управление сценарием, мониторинг показателей пользователя на основе компонентов модели;
- поддержка различных механизмов управления ВТ: автоматического (на основе сценария) и внешнего (экспертом) управления виртуальными объектами и событиями в зависимости от состояния человека на основе БОС.

В рамках реализации указанных принципов в работе [5] предложена архитектура инструментального комплекса для создания, воспроизведения и сопровождения ВТ с БОС.

Для демонстрации представленных решений в данной статье рассматривается пример создания ВТ в виде виртуального окружения (ВС) с изменяемыми параметрами (высота здания, освещение, наличие объектов), позволяющего произвести «погружение» пользователя в данную среду. Для оценки состояния пользователя используются объективные (полученные от специализированного оборудования в составе ВТ) и субъективные (полученные со слов человека) признаки, которые позволяют оценить состояние человека, помещённого в ВС и активно в ней действующего.

Пример 1. ВТ по выполнению работ повышенной опасности «Работа на высоте». Целью данного тренажёра является тестирование человека на акрофобию (страх высоты) и профилактика тревожных расстройств, с возможностью изменения параметров ВС в зависимости от состояния пользователя. В ходе прохождения сценария пользователю ставится задача отработать в ВР навыки выполнения действий на высотных зданиях с постоянным мониторингом физиологических показателей. Такой подход позволяет подготовить пользователя к восприятию факторов виртуального окружения и в дальнейшем минимизировать негативные последствия, которые могут появиться в работе на высоте.

Сценарий ВТ включает выполнение следующих этапов.

1) Запуск сеанса.
2) Вызов лифта.
3) Подъём на сконфигурированный этаж.
4) Выход из лифта.
5) Поднятие предмета (на высоте).
6) Изменение этажа.
7) Повтор этапов подъёма и поднятия предмета.
8) Спуск на первый этаж.
9) Завершение сеанса.

Для реализации тренажёра требуется создание ВС. На этом этапе с помощью пакета прикладных программ *3D* моделирования и разработки виртуальных сцен происходит первоначальная компоновка виртуальной сцены с использованием готовых или созданных виртуальных объектов. Для реализации возможности создания различных сценариев и удалённого управления ВТ необходимо сформировать информационную инфраструктуру разрабатываемого ВТ с помощью комплекса онтологий и интегрировать управляемые модули в ВТ.

Созданная ВС включает множество различных объектов, в числе которых ключевыми являются лифт и поднимаемый предмет.

2 Описание используемых онтологий

Использование онтологического подхода и семантического представления информации подразумевает создание набора связанных между собой онтологий:

- онтология ВС;
- онтология исследований;
- онтология карты пользователя;
- онтология оборудования;
- онтология знаний о состояниях пользователя.

Комплекс онтологий определяет структуру информационного наполнения ВТ. На его основе могут быть разработаны различные ВТ.

2.1 Онтология ВС

Онтология ВС определяет сцены, объекты, их параметры и функции для формирования сценария работы с ними. На рисунке 1 показаны структура онтологии ВС (а) и её реализация (б) на платформе *IACPaaS* (*Intelligent Applications, Control and Platform as a Service*). Каждая ВС содержит *Название ВС, Описание ВС* и одну или множество *Сцен*. Каждая сцена представляет собой элемент, имеющий *Название сцены, Описание сцены, Параметры сцены, Функции сцены* и может иметь группу объектов.

Параметры и функции доступны только в рамках одной сцены. Объекты сцены построены на основе иерархической структуры и при необходимости позволяют внутри себя размещать другие объекты. Структура параметра объекта (а) и функции объекта (б) показаны на рисунке 2. На основе онтологии ВС производится формирование информационного представления ВС.

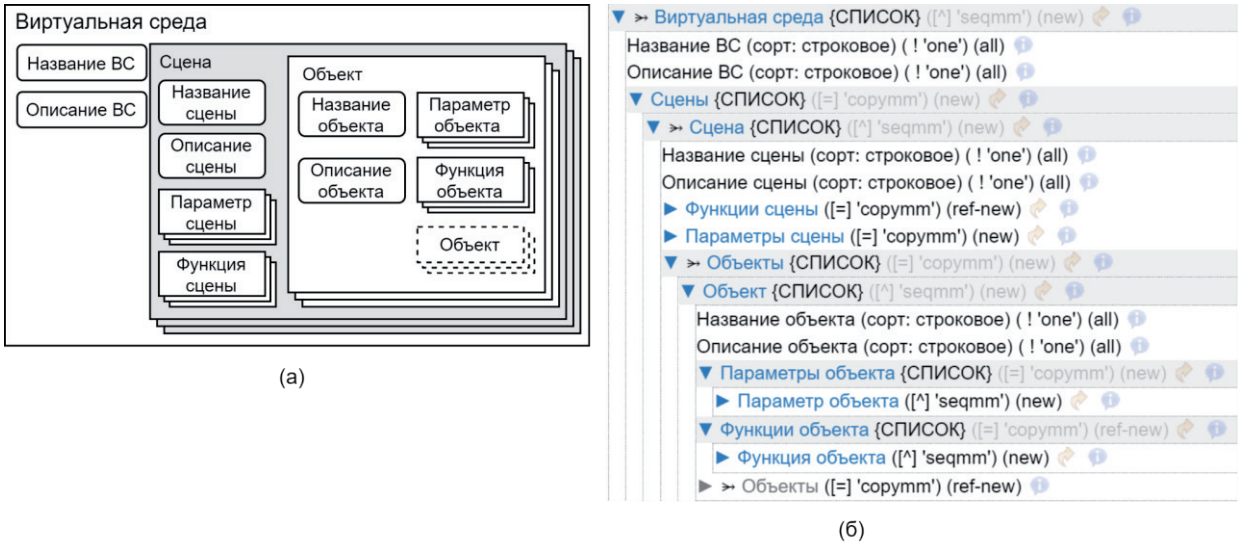


Рисунок 1 – Структура онтологии виртуальной среды (а) и реализация онтологии виртуальной среды (б)

Рисунок 2 – Структуры параметра объекта (а) и функции объекта (б)

Пример 2. Для тренажёра, описанного в *Примере 1*, имеется всего одна виртуальная сцена «Подъём на лифте». Объектами виртуальной сцены являются: лифт и поднимаемый предмет; внутри объекта лифт имеются такие объекты как кнопка открытия лифта и кнопка подъ-

ёма лифта. Объекты могут быть разных типов, в т.ч. и с иерархической структурой. У каждого объекта могут быть параметры и функции. Например, у объекта лифт имеются параметры «Этаж подъёма» и «Шаг увеличения этажа», а также функции: «Увеличить этаж» и «Уменьшить этаж». Структура виртуальной сцены *Примера 2* показана на рисунке 3.

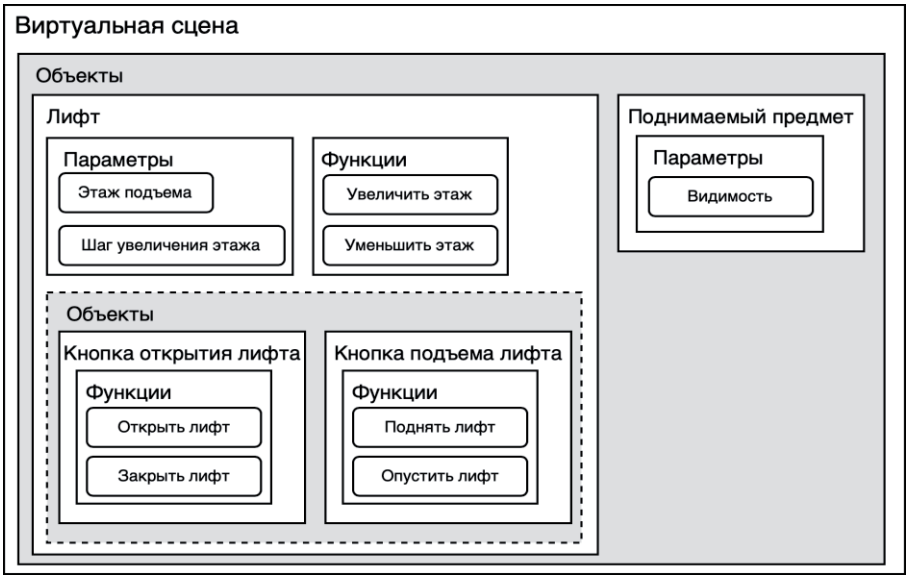


Рисунок 3 – Структуры сцены *Примера 2*

Реализация онтологий и сформированных на их основе баз данных, знаний и моделей выполнена на платформе *IACPaaS* [10], которая ориентирована, главным образом, на создание интеллектуальных сервисов, работающих с базами знаний (БЗ) и/или данных в семантическом (графовом) представлении. Платформа имеет редактор для описания терминологии и структуры создаваемых информационных ресурсов (ИР), БЗ и баз данных. На рисунке 4 показан скриншот фрагмента описания объектов и функций ВТ на платформе *IACPaaS*.

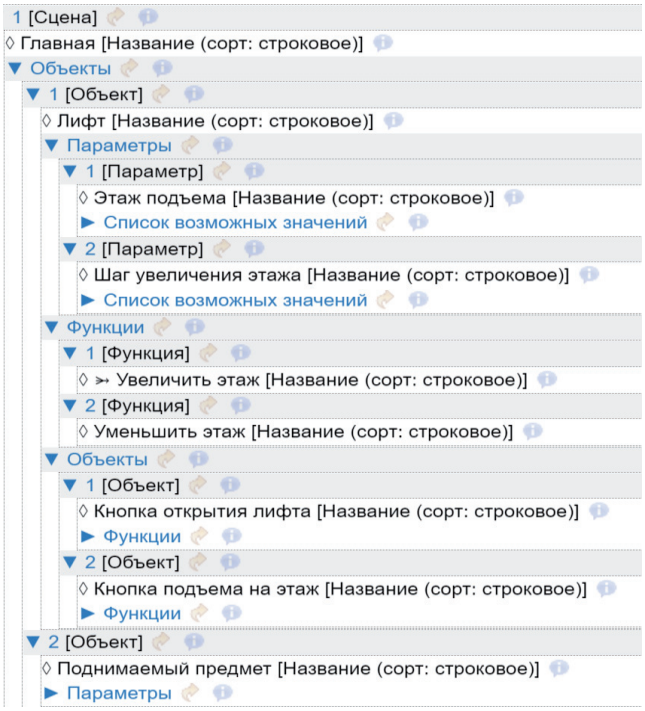


Рисунок 4 – Скриншот фрагмента описания объектов и функций ВТ на платформе *IACPaaS*

2.2 Онтология исследований

Онтология исследований определяет структуру исследований, формируемых на основе ВС. Она задаёт правила, условия, ограничения для работы пользователя в ВС и формирования индивидуального сценария работы. На рисунках 5 и 6 показаны структура и скриншот фрагмента онтологии исследования.

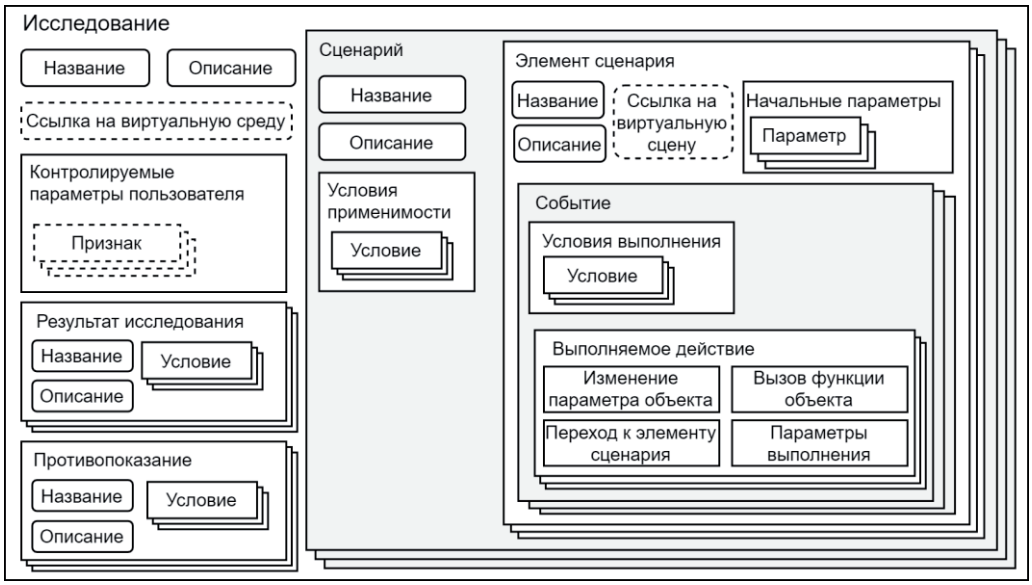


Рисунок 5 – Структура онтологии исследования

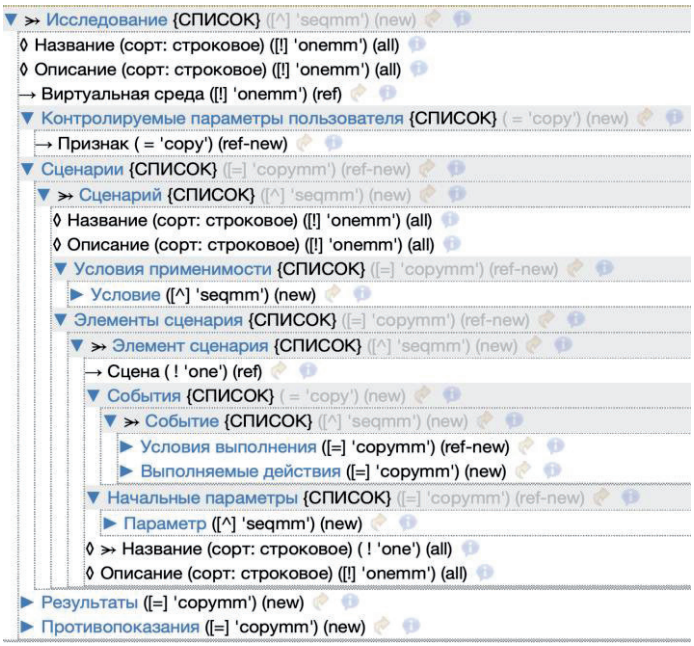


Рисунок 6 – Скриншот фрагмента онтологии исследования на платформе *IACPaaS*

Структура онтологии исследований имеет следующий вид.

Название - имя исследования. *Описание* - неформальное описание исследования.

Ссылка на ВС - указание ВС, которая будет использоваться в исследовании.

Контролируемые параметры пользователя – набор признаков пользователя, которые могут повлиять на выбор режима работы с тренажёром. Эта группа признаков может включать как изменяемые во время работы с тренажёром признаки, такие как пульс, частота ды-

хания, температура тела и другие, так и метрики пользователя (рост, массу тела, окружность головы, окружность груди, окружность талии, индекс массы тела и др.), текущее заболевание(я), перенесенные заболевания, травмы, операции, вредные привычки с отметкой времени, а также и другие признаки, такие как жалобы, например, наличие болей, слабости, общее состояние и ряд других. Эти признаки необходимы для формирования индивидуального сценария тренажёра, они могут отмечаться пользователем как перед началом работы с тренажером, так и изменяться на протяжении его взаимодействия с тренажёром.

Сценарий - набор возможных сценариев, позволяющих использовать тренажёр с различными вариациями параметров и событий для различных типов пользователей. Каждый сценарий имеет название, описание, условия применимости и включает набор элементов сценария. Элемент сценария имеет ссылку на виртуальную сцену, используемую в этом элементе сценария, начальные параметры объектов при запуске элемента сценария и набор событий. Событие представляет собой структуру для описания–изменения свойств ВС и управления работой тренажёра. Структура события содержит набор условий выполнения и набор выполняемых действий. Условием выполнения может быть значение признака пользователя или значение параметра объекта. Выполняемым действием может быть изменение параметра объекта, вызов функции объекта, а также переход к элементу сценария. Каждому выполняемому действию можно указать параметры повтора выполнения, где указывается количество повторов и интервал между выполнениями.

Результаты исследования – определяют возможные результаты исследования.

Противопоказания – определяют ограничения в использовании исследования.

Блок условий, используемый для реализации проверки характеристик и значений применяемых в комплексе онтологий [11], позволяет описать условия в виде признаков и их значений. На рисунке 7 показан скриншот описания условия.

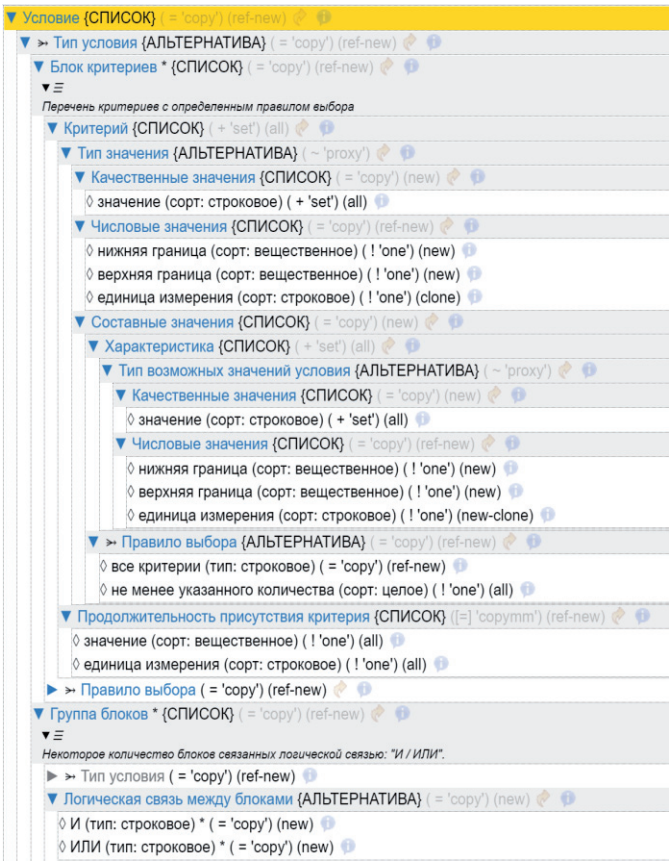


Рисунок 7 – Скриншот описания условия

Важным компонентом онтологии исследования является формальное описание наборов возможных признаков и их значений (диапазонов значений), которыми выступают жалобы, результаты лабораторных или инструментальных исследований, различные факторы из анамнеза жизни [11]. Структура признака показана на рисунке 8.

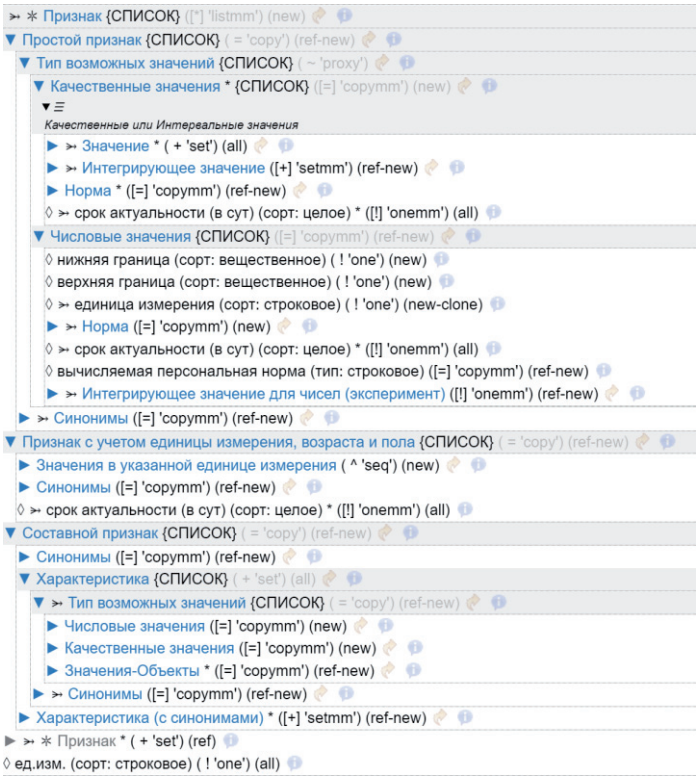


Рисунок 8 – Скриншот описания признака

Признак может быть простым или составным. Простые признаки состоят из имени признака и множества его значений. Типы значений проявляемых признаков могут иметь числовые или качественные значения. Примером простого признака являются жалобы больного: головокружение, тошнота, сонливость с вариантами значений «имеется», «отсутствует».

Составной признак состоит из имени и набора характеристик. Каждая характеристика описывается множеством вариантов значения этой характеристики. Типы значений характеристик совпадают со значениями простых признаков. Примером составного признака является такая жалоба больного, как головная боль. Признак имеет несколько характеристик: характер, локализация, интенсивность, выраженность и др. Каждая характеристика может иметь одно или несколько различных значений. Например, характеристика характер боли (признака головная боль) имеет значения: острая, тупая, пульсирующая и др. Характеристика интенсивность: слабая, умеренная, сильная и др.

Пример 3. На основе ВС, описанной в *Примере 2*, можно указать контролируемые объективные и субъективные признаки пользователя. Например, за объективный признак можно принять частоту пульса, а за субъективный - головокружение. Можно определить противопоказания для прохождения исследования, в которых успешное прохождение будет считаться в случае, если (например) частота пульса не превышала 90 ударов в минуту и отсутствовало головокружение. Пример заполнения результатов исследования показан на рисунке 9.

При формировании исследования возможно создание группы сценариев, в рамках которой возможно сформировать сценарий под различные группы пользователей, дифференцируемых по признакам (возраст, рост, вес, наличие заболеваний и т.д.). Каждый сценарий со-

держит элементы сценария с возможностью перехода между ними; исполнение событий внутри элемента сценария производится на основе условий выполнения.

Пример 4. Анализ блоков элементов сценария, построенного на основе этапов *Примера 1.* На рисунке 10 показан элемент сценария «Изменение этажа», в котором могут быть исполнены три события: Событие 1 может повторяться и каждый раз приводит к переходу на элемент сценария «Подъём на этаж». Событие 2 при достижении максимально допустимого этажа осуществляет переход к следующему элементу сценария, позволяющему осуществить завершение сеанса. Событие 3 производит завершение сеанса при пульсе в недопустимом диапазоне.

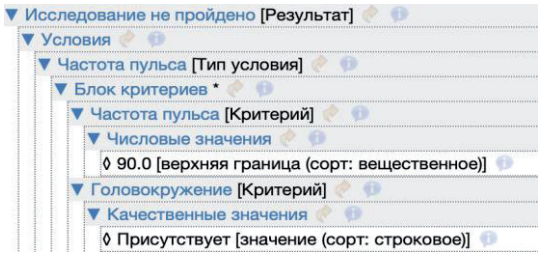


Рисунок 9 – Пример заполнения результатов исследования

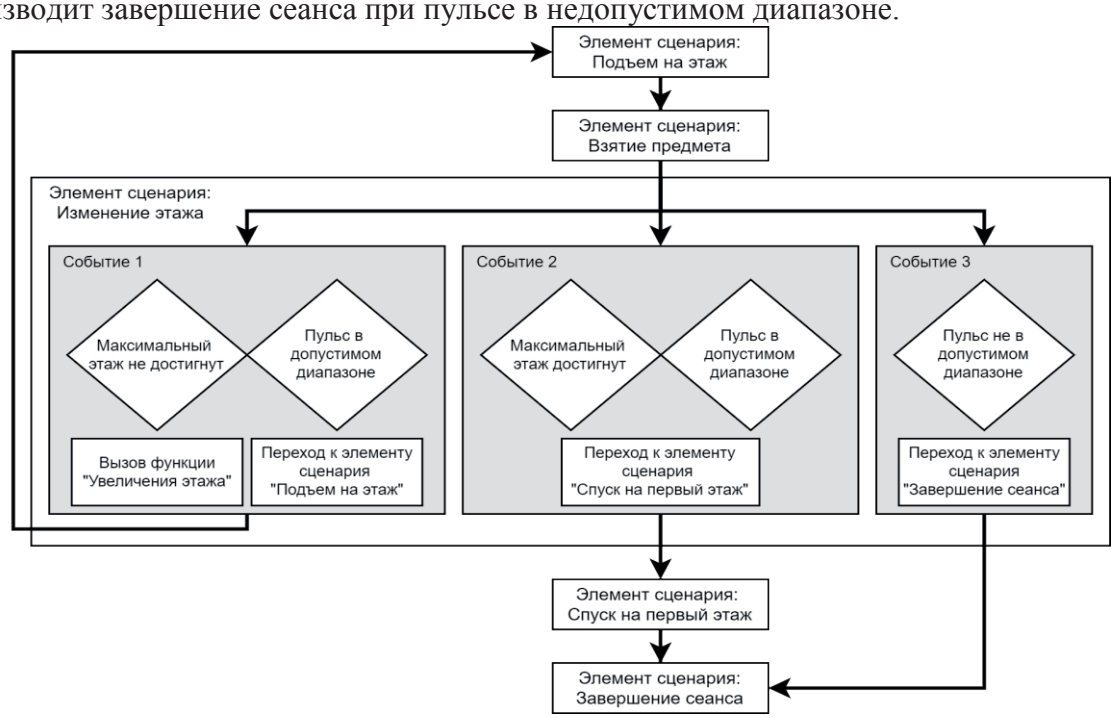


Рисунок 10 – Пример блока элементов сценария с переходами

Пример 5. Используя платформу *IACPaaS*, можно создать элемент сценария «Подъём на этаж», в котором присутствует только одно событие, при выполнении которого производится вызов функции «Вызов лифта» и переход к элементу сценария «Взятие предмета». На рисунке 11 показан скриншот фрагмента описания исследования ВТ на платформе *IACPaaS*.

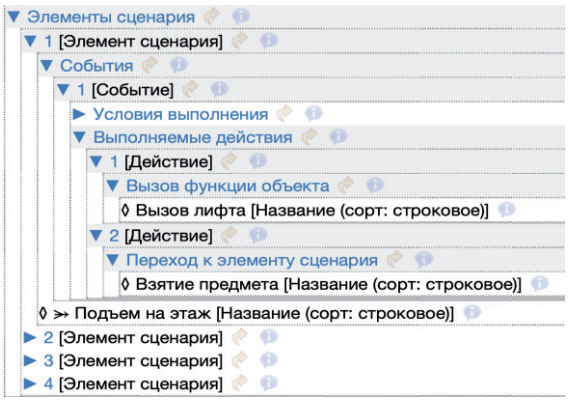


Рисунок 11 – Скриншот фрагмента создания элемента сценария

2.3 Онтология карты пользователя

Онтология карты пользователя определяет структуру хранения истории исследований. На рисунке 12 показана структура онтологии карты пользователя.

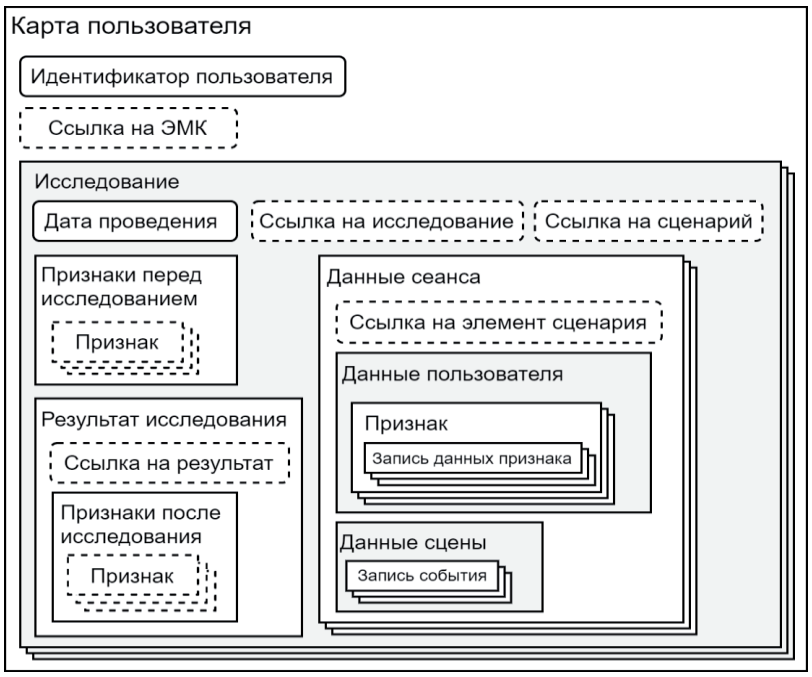


Рисунок 12 – Структура онтологии карты пользователя

Карта пользователя включает:

- идентификатор пользователя (уникальное наименование в информационной системе);
- ссылку на полную электронную медицинскую карту (ЭМК);
- набор исследований.

Хранение истории исследований происходит с помощью структуры записи исследований. Каждый проводимый сеанс формирует новую запись об исследовании в рамках определенной структуры. Исследование в истории сеансов имеет следующую структуру.

- Дата проведения – временная отметка данных записи, в формате ДД.ММ.ГГГГ - чч:мм:сс.ссс.
- Ссылка на исследование – указание применяемого исследования из базы исследований.
- Ссылка на сценарий – указание сценария, который будет использоваться в исследовании.
- Признаки перед исследованием – признаки пользователя перед исследованием. Перед работой пользователя на ВТ фиксируются первоначальное состояние пользователя, определяемое на основе признаков. В зависимости от набора признаков пользователя выбирается режим работы.
- Данные сеанса содержат информацию о ходе прохождения исследования с привязкой к элементу сценария ссылкой. В сеансе фиксируются: данные пользователя, представленные параметрами пользователя, внутри которых производится запись данных признака, и данные сцены. Такая структура позволяет сохранить данные сеанса в виде параметров пользователя и изменений виртуальной сцены относительно времени. Признаки заполняются в процессе работы пользователя на тренажёре от различного оборудования с БОС (частота пульса, частота дыхания и т.д.). Признаки могут быть использованы для корректировки сценария. На основе признаков могут диагностироваться состояния пользователя, которые могут влиять на сценарий тренажёра.

- Результаты исследования могут определяться во время взаимодействия пользователя с тренажёром или после прохождения сеанса на тренажёре.

В процессе проведения исследования формируются данные сеанса, которые записываются в карту пользователя как проведённое исследование.

2.4 Онтология оборудования ВР и БОС

Онтология оборудования ВР и БОС описана в структурированной форме, удобной для хранения, понимания, редактирования и использования. Структура онтологии оборудования показана на рисунке 13. Онтология оборудования ВР и БОС содержит:

- Блок информации об оборудовании, включающий: *Название, Описание, Производителя, Модель, Серийный номер.*
- Блок параметров. Каждый параметр включает *Название, Описание, Диапазон значений* и *Тип данных*.

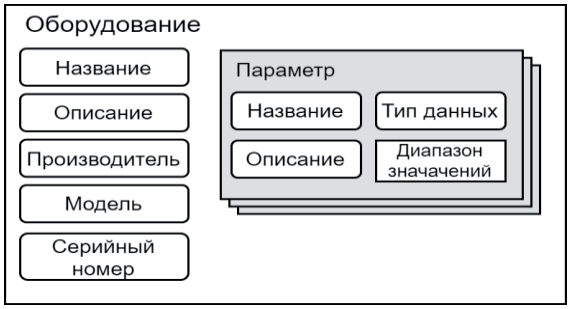


Рисунок 13 – Структура онтологии оборудования

2.5 Онтология знаний о состояниях пользователя

Онтология знаний о состояниях пользователя построена на основе онтологии медицинской диагностики [11], которая реализована на платформе *IACPaaS*. Особенностью онтологии является возможность описать диагностику одного и того же процесса различными методами, учесть динамику одного или нескольких признаков, объединить процессы в классы с выделением характерных для класса отклонений признаков, описать возможные варианты уточнения одного отклонения. Важным компонентом онтологии является задание нечётких шкал, характеризующих либо значения признака или его характеристики (для составных признаков), либо меру доверия и выраженности признака.

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

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

Например, при диагностике состояния пользователя в качестве условия может выступать частота сердечных сокращений; в некоторых ВТ - температура тела или наличие определённого признака (тошнота, головокружение). Внешними факторами для таких объектов могут быть тип виртуального окружения, индивидуальные характеристики (возраст, пол).

С помощью рассматриваемого комплекса инструментов возможно сформировать знания о диагностике состояний пользователя в зависимости от наличия определённых признаков и их значений с возможностью дифференцированного учёта особенностей пользователей.

Заключение

Предложен комплекс онтологий, позволяющий формировать информационное наполнение разрабатываемого ВТ и описывать ВС. Пользователи, не знакомые с языками програм-

мирования и технологиями разработки программных систем, описывают ВТ в терминах онтологии. Приведён пример ВТ выполнения работ на высоте, с помощью которого можно провести тестирование человека на акрофобию и профилактику тревожных расстройств, с возможностью изменения параметров ВС в зависимости от состояния пользователя.

Доступ к комплексу онтологий осуществляется через веб-интерфейс и в настоящее время используется специалистами для проектирования ВТ.

Список источников

[1] ***LaValle S.M.*** Virtual Reality / University of Illinois. Cambridge University Press, 2017. 430 p. http://vr.cs.uiuc.edu/vrbook.pdf.

[2] ***Vlasov S., Borgest N.*** Application of VR and AR Technologies in Educational Process // Advances in Intelligent Systems Research. 2020. Vol.174. P.78-81.

[3] ***Смолин А.А***. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2018. 59 с.

[4] ***Селиванов В.В., Селиванова Л.Н***. Виртуальная реальность как метод и средство обучения. *ОТО*. 2014. No3. С.378–391.

[5] ***Мухина О.В., Никитин А.В.*** Метод адаптивного представления интерактивных электронных сред с погружением // *Информационно-управляющие системы*. 2010. No 1(44). С.15–18.

[6] ***Грибова В.В., Стрекалев В.О.*** Инструментальный комплекс для иммерсивных виртуальных тренажеров с биологической обратной связью // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2020. № 8. С.19-28. DOI: 10.14489/vkit.2020.08. pp.019-028.

[7] ***Coogan C.G., He B.*** Brain-Computer Interface Control in a Virtual Reality Environment and Applications for the Internet of Things, in IEEE Access, vol. 6, pp. 10840-10849, 2018, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2809453.

[8] ***Воловик М. Г.*** Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с ограниченными возможностями (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2018. Т.10, N4. С.173–182.

[9] ***Аладышев А.В., Субботин Е.А.*** Функциональное биоуправление с обратной связью – перспективная информационная технология в медицине // *Современные наукоемкие технологии*. 2005. № 3. С.86-87.

[10] ***Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Федорищев Л.А., Шалфеева Е.А.*** Облачная платформа IACPaaS для разработки оболочек интеллектуальных сервисов: состояние и перспективы развития // *Программные продукты и системы*. 2018. №3. С.527-536.

[11] ***Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.*** Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // *Онтология проектирования.* 2018. Т.8, №1(27). С.58-73. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.

Сведения об авторах

Грибова Валерия Викторовна, 1965 г.р. Окончила Ленинградский политехнический институт (1989), д.т.н. (2007), член-корр. РАН (2022). Заместитель директора по научной работе, руководитель лаборатории интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления ДВО РАН, профессор Дальневосточного федерального университета (ДВФУ), Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС). Вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 300 работ.ORCID: 0000-0001-9393-351X; AuthorID (РИНЦ): 7400; AuthorID (Scopus): 7801667631. *gribova@iacp.dvo.ru.*✉.

Стрекалёв Вячеслав Олегович, 1993 г. рождения. Окончил Иркутский национальный технический университет (2017). Младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. AuthorID (РИНЦ): 1136593; ORCID: 0000-0002-6209-6226; Researcher ID (WoS): AAD-6228-2022. strekalev@dvo.ru.

Поступила в редакцию 05.06.2022. Принята к публикации 25.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-172-185

Complex of ontologies for virtual simulators with biofeedback

© 2022, V.V. Gribova[1,2], V.O. Strekalev[1] ✉

[1] *Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok, Russia*

[2] *Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

Abstract

Currently, virtual simulators are being actively developed and implemented to solve problems of a wide profile. A special place among them is occupied by solutions based on virtual reality and biofeedback. The use of an ontological approach and semantic representation of information makes it possible to optimize the processing, storing, searching and analyzing data for the implementation of virtual simulators at all stages of their life cycle. The basic principles of creating virtual simulators with biofeedback, which are the basis of the software package for their creation, reproduction and maintenance, are presented. The implementation of virtual simulators requires a description of the virtual environment, the creation of a work scenario and managing it during operation based on individual user parameters. A complex of ontologies for virtual simulators with biofeedback is proposed, which consists of an ontology of the virtual environment, an ontology of research, an ontology of the user's map, an ontology of equipment and an ontology of knowledge about the user's states. It is shown that the use of this complex of ontologies significantly reduces labor costs when designing virtual simulators and to form an information representation of the solutions being developed, to simplify the creation and introduction of changes. To demonstrate the solutions presented, an example of a virtual simulator for performing work at height is presented, with the help of which it is possible to test a person for acrophobia (fear of heights) and prevention of anxiety disorders, with the possibility of changing the parameters of the virtual environment depending on the user's condition.

Key words: *complex of ontologies, virtual reality, virtual simulators, biofeedback, instrumental complex, virtual environment.*

***Citation*:** *Gribova VV, Strekalev VO.* Complex of ontologies for virtual simulators with biofeedback [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 172-185. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-172-185.

Financial support: This work was carried out with partial financial support from the Innovation Assistance Fund, contract 269GUCES8-D3/56658, grant RFBR 20-07-00670.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and table

Figure 1 - The structure of the virtual environment ontology (a) and the implementation of the virtual environment ontology (b)
Figure 2 - The structures of the object parameter (a) and the object function (b)
Figure 3 - Example 2 scene structures
Figure 4 - Screenshot of a fragment of the description of virtual simulator objects on the IACPaaS platform
Figure 5 - Structure of the research ontology
Figure 6 - Screenshot of a fragment of the research ontology on the IACPaaS platform
Figure 7 - Screenshot of the condition description
Figure 8 - Screenshot of the attribute description
Figure 9 - Example of filling the research results
Figure 10 - Example of a block of script elements with transitions
Figure 11 - Screenshot of a fragment of creating a script element
Figure 12 - Structure of the user's map ontology
Figure 13 - Structure of the equipment ontology

References

[1] ***LaValle SM.*** Virtual Reality / University of Illinois. Cambridge University Press, 2017. 430 p. http://vr.cs.uiuc.edu/vrbook.pdf.

[2] ***Vlasov S., Borgest N.*** Application of VR and AR Technologies in Educational Process // Advances in Intelligent Systems Research. 2020. Vol.174. P.78-81.

[3] ***Smolin AA.*** The systems of virtual, augmented and mixed reality [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House of ITMO University, 2018. 59 p.

[4] ***Selivanov VV, Selivanova LN.*** Virtual reality as a method and means of teaching [In Russian]. *OTO*. 2014; 3: 378-391.

[5] ***Mukhina OV, Nikitin AV.*** Method of adaptive representation of interactive electronic environments with immersion [In Russian]. Information and control systems. 2010; 1(44): 15-18.

[6] ***Gribova VV, Strekalev VO.*** Instrumental complex for immersive virtual simulators with biofeedback [In Russian]. Bulletin of Computer and Information Technologies. 2020; 8: 19-28. DOI: 10.14489/vkit.2020.08.

[7] ***Coogan CG, He B.*** Brain-Computer Interface Control in a Virtual Reality Environment and Applications for the Internet of Things, in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 10840-10849, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2809453.

[8] ***Volovik MG.*** Virtual reality technologies in complex medical rehabilitation of patients with disabilities (review) [In Russian]. Modern technologies in medicine. 2018; 10(4): 173–182.

[9] ***Aladyshev AV, Subbotin EA.*** Functional biofeedback – perspective information technology in medicine [In Russian]. Modern high-tech technologies. 2005; 3: 86-87.

[10] ***Gribova VV, Kleshchev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA, Fedorishchev LA, Shalfeeva EA.*** IACPaaS cloud platform for the development of intelligent services shells: state and prospects of development [In Russian]. Software products and systems. 2018; 3: 527-536.

[11] ***Gribova VV, Petryaeva MV, Okun DB, Shalfeeva EA.*** Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 8(1): 58-73. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.

About the authors

Valeriya Victorovna Gribova (b.1965) graduated from the Leningrad Polytechnic University in 1989, Professor's degree (2007). She is the Head of the Intelligent systems lab in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, Research Deputy Director, an expert of Analytic Center in Government of Russian Federation, a Vice-President of Russian Association of Artificial Intelligence. She is a co-author of more than 250 publications in the fields of AI, informatics, program models, technologies and systems. AuthorID (RSCI): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631; ORCID: 0000-0001-9393-351X; Researcher ID (WoS): Q-4250-2016. *gribova@iacp.dvo.ru.*

Vyacheslav Olegovich Strekalev (b. 1993) graduated from the Irkutsk National Technical University in 2017. Junior Research associate of the Intelligent systems lab at the Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. AuthorID (RSCI): 1136593; ORCID: 0000-0002-6209-6226; Researcher ID (WoS): AAD-6228-2022. *strekalev@dvo.ru*.

Received June 5, 2022. Accepted June 25, 2022.

УДК 519.711.3 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199

Аддитивная регуляризация при тематическом моделировании текстов сообществ онлайновых социальных сетей

© 2022, И.О. Датьев ✉, А.М. Федоров

Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Аннотация

Задача моделирования сообществ (групп) пользователей в социальных медиа является актуальной в рамках информационной поддержки принятия решений на разных уровнях государственного управления. Для автоматизированного извлечения смысла текстовой и сопутствующей информации используются методы тематического моделирования. В статье представлен опыт улучшения результатов тематического моделирования сообществ онлайновых социальных сетей с помощью аддитивной регуляризации тематических моделей. Улучшение результатов достигается посредством применения базовых регуляризаторов, доступных в программной библиотеке с открытым исходным кодом *BigARTM*. Тематические модели, полученные с использованием регуляризатора, сравниваются с тематическими моделями, полученными методами латентного размещения Дирихле и вероятностного латентно-семантического анализа. На подготовленном датасете, содержащем предварительно обработанные тексты постов сообществ онлайновой социальной сети проведены эксперименты по сравнению качества тематических моделей по метрикам когерентности, чистоты тем, разреженности матриц распределения. Обсуждаются недостатки метрик когерентности для оценки качества тематических моделей, полученных с помощью метода аддитивной регуляризации. Предложены дополнительные метрики, которые могут быть полезны для оценки качества тематических моделей. Сделаны выводы о применимости предложенного подхода для моделирования сообществ онлайновых социальных сетей. Результаты работы могут быть применены при разработке информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием.

Ключевые слова: *управление региональным развитием, информационно-аналитические системы, сообщества социальных сетей, методы тематического моделирования, метрики когерентности.*

Цитирование: *Датьев И.О., Фёдоров А.М.* Аддитивная регуляризация при тематическом моделировании текстов сообществ онлайновых социальных сетей // Онтология проектирования. 2022. Т. 12, №2(44). С.186-199. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания ИИММ ФИЦ КНЦ РАН. Тема НИР «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер темы НИР: 122022800551-0).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Задачи управления региональным развитием, стоящие перед органами региональной власти, имеют сложный и разнородный характер. Для их качественного решения помимо представителей власти требуется привлечение специалистов из различных предметных областей (ПрО) [1]. В проведении решений при управлении региональным развитием заинтересованы и участвуют представители трёх сфер: власть, бизнес и гражданское общество.

Для современных процессов всеобщей цифровизации актуальной представляется задача разработки комплексных информационно-аналитических систем (ИАС) для поддержки управления региональным развитием. Основными характеристиками таких систем являются

интеллектуализированная обработка больших объёмов данных, распределённость, динамично изменяющаяся структура, модульные решения разнородных прикладных задач. Проектирование и разработка ИАС, отвечающих этим требованиям, должны основываться на системе формализованных знаний о ПрО [2].

В задачах регионального управления одной из важных ПрО является общество, которое определяется как отдельными индивидами (жителями региона), так и общественными организациями, объединениями и сообществами, действующими в регионе. Формализованные знания об обществе составляют базовую онтологию для создания модуля ИАС «Общество» (рисунок 1).

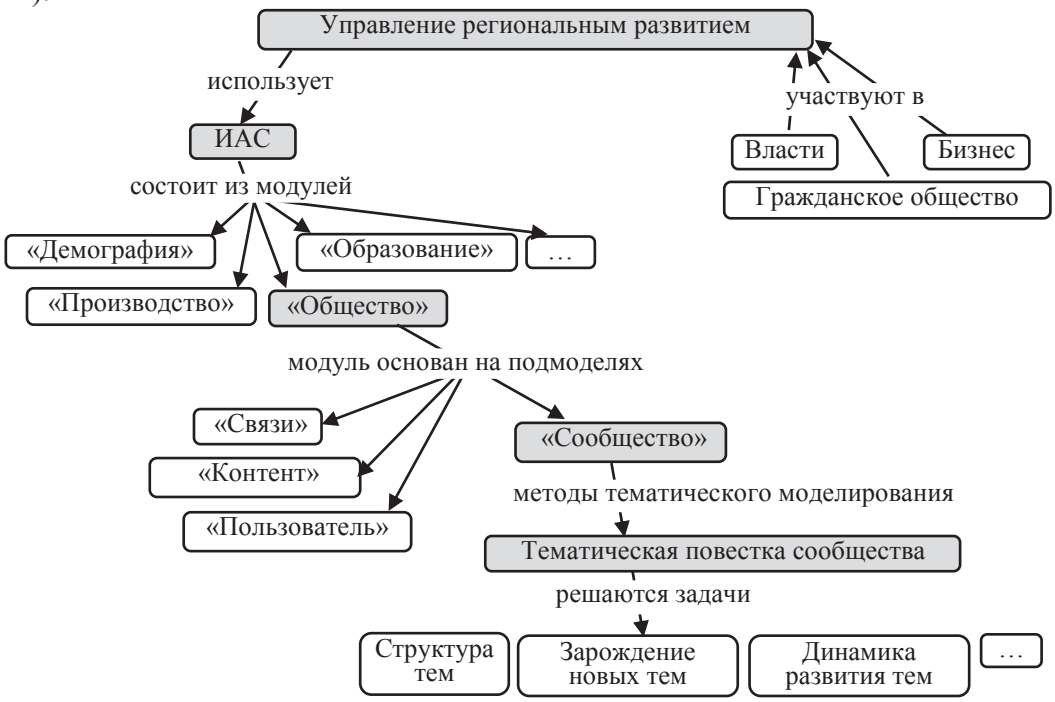


Рисунок 1 — Модуль «Общество» ИАС в структуре управления региональным развитием

Один из современных методов моделирования общества основан на исследовании социальных сетей (СС). СС можно рассматривать как образ общества в информационном онлайновом пространстве. Существование такого пространства открывает возможности автоматизации получения данных, проведения мониторинга, оценки, анализа и построения прогнозов.

Для задач управления региональным развитием важной характеристикой общества является *тематическая повестка*. В информационном пространстве СС тематическая повестка определяется совокупностью публикаций (постов), комментариев, мультимедийных приложений, которые размещаются на персональных страницах пользователей, а также в организуемых ими сообществах (группах). Для автоматизированного анализа текстов постов и комментариев с целью выявления в них *тематических кластеров* используются методы *тематического моделирования*.

Данная статья посвящена применению тематического моделирования для построения моделей сообществ СС и улучшению его результатов.

В работе [3] показано использование ряда методов вероятностного тематического моделирования на примерах постов сообществ онлайновой СС ВКонтакте. Эти эксперименты показали, что подход к аддитивной регуляризации тематических моделей (*Additive Regularization for Topic Modeling, ARTM*) является одним из самых быстрых по времени обучения тематической модели. В качестве другого преимущества отмечена мультимодальность, значимая для моделирования сообществ СС, поскольку в них присутствует сопут-

ствующая информация, которая не всегда является обычным текстом. Для автоматической оценки качества тем, получаемых с помощью различных методов тематического моделирования, выбрана метрика когерентности *UMass*, поскольку ей присуща наибольшая корреляция с человеческими оценками семантической интерпретируемости тем [4, 5]. В роли дополнительного критерия качества использовалась сумма вероятностей верхних десяти токенов темы (т.н. чистота темы) [6]. Метод латентного размещения Дирихле *LDA* существенно превзошел *ARTM* и другие методы по значению когерентности *UMass*. Результаты объясняются использованием *ARTM* без регуляризаторов, поскольку в таком режиме подход *ARTM* является обычным методом вероятностного латентно-семантического анализа *PLSA* [7].

В данной статье приводятся результаты экспериментов с настройкой базовых регуляризаторов, доступных в библиотеке *BigARTM* [8], и с варьированием гиперпараметрами метода *LDA*. В качестве опорного для сравнения используются метод *LDA* и метод *ARTM* без регуляризации.

1 Особенности подхода ARTM

В проведённом исследовании использованы открытая библиотека *BigARTM* и программно реализованный в ней подход *ARTM* к построению и комбинированию тематических моделей [9, 10]. *ARTM* является применением классической теории регуляризации некорректно поставленных задач [11] к тематическому моделированию. Построение тематической модели сводится к задаче стохастического матричного разложения, которая в общем случае имеет бесконечно много решений, т.е. является некорректно поставленной.

ARTM имеет два принципиальных отличия [6] от байесовского подхода. Во-первых, не ставится задача построения чисто вероятностной модели порождения текста. Многие ограничения (в том числе лингвистические) формализуются с помощью оптимизационных критериев, а не через априорные распределения. При этом регуляризаторы могут не иметь вероятностную интерпретацию. Наиболее распространённый регуляризатор — распределение Дирихле — может быть заменён одновременно несколькими проблемно-ориентированным регуляризаторами [12-15]. Во-вторых, вместо байесовского вывода используется регуляризованный EM-алгоритм [16]. Благодаря аддитивности регуляризаторов добавление регуляризатора в модель требует лишь небольшой модификации M-шага в готовом EM-подобном алгоритме, что позволяет без особых вычислительных затрат использовать не один, а комбинацию регуляризаторов. В [17] утверждается, что *ARTM* — это обобщённый подход к тематическому моделированию как к задаче многокритериальной оптимизации.

Возможно также построение с помощью *ARTM* мультимодальных моделей, позволяющих учитывать дополнительную (сопутствующую), зачастую нетекстовую, информацию, содержащуюся в коллекциях документов [18, 19]. Примерами такой информации применительно к СС могут служить: время, автор, источник публикации, гиперссылки, хэштеги, именованные сущности, названия сообществ пользователей, эмотиконы и др.

Дальнейшее развитие подход *ARTM* получил в работах [20-22], в направлении совершенствования регуляризаторов и исследования сходимости алгоритма *ARTM* [23].

В работах [6, 17, 24] показано, что комбинирование регуляризаторов сглаживания, разреживания, декоррелирования повышает интерпретируемость тем и образует базовый набор регуляризаторов, достаточный для большинства задач тематического моделирования. В данной работе проведены эксперименты с тремя основными регуляризаторами *ARTM*: сглаживание, разреживание, декорреляция. Для метода *LDA* [25], производится настройка гиперпараметров *alpha* и *beta*, которые определяют степень аппроксимации матриц *Phi, Theta*, к распределению Дирихле. В случае малых (меньше единицы) значений *alpha* (или *beta*) получа-

ются разреженные распределения, в которых почти все вероятности равны или близки к нулю, и только небольшая часть – существенно ненулевые. Для тематического моделирования это соответствует предположению, что в документе присутствует небольшое число тем (это соответствует разреженной матрице *Theta*), и тему можно чётко определить небольшим количеством слов (разреженная матрица *Phi*) [26]. Таким образом, распределение Дирихле выполняет в тематическом моделировании (метод *LDA*) только роль регуляризатора «разреживания-сглаживания», поскольку «не имеет лингвистических обоснований, не является моделью какого-либо языкового явления, и его применение продиктовано исключительно удобством аналитического интегрирования в байесовском выводе» [16].

2 Настройка регуляризаторов и некоторые метрики качества

Оценивание тематических моделей проводилось на реальном датасете, содержащем открытые данные нескольких региональных сообществ популярной российской СС ВКонтакте. Датасет состоит из 15754 уникальных токенов, 9084 лемматизированных постов [3]. В процессе экспериментов производилось обучение серий тематических моделей. Всего было получено девять серий моделей с диапазоном количества тем от одной до четырёхсот для каждой серии. Во всех моделях, кроме *LDA_auto* и *ARTM* без регуляризации (*PLSA*), значения коэффициентов регуляризации задавались вручную на основании результатов нескольких экспериментов.

Наряду с настройкой базовых регуляризаторов *ARTM* предпринимались попытки найти значения параметров метода *LDA*, способствующие построению наилучших тематических моделей. Для этого применялись несколько программных библиотек *BigARTM*[1], *Gensim*[2], *Gensim/Mallet*, в которых существует возможность настройки двух основных (за исключением *Gensim/Mallet*, где был найден только один параметр — *alpha*) гиперпараметров *LDA* — *alpha* и *beta*.

На рисунках 2-9 представлены результаты проведённых экспериментов и приняты следующие обозначения:

1) *LDA_auto* — модель *LDA* из пакета *Gensim* с автоматической инициализацией параметров *alpha* и *beta*;
2) *LDA*_a=e=10-4 — модель *LDA* из пакета *Gensim* с инициализацией параметров *alpha* и *beta* значениями 10^{-4};
3) *LDA_mlt*_a=10-4 — модель *LDA* из пакета *Gensim* с модификацией *Mallet*[3] с инициализацией параметра *alpha* значением 10^{-4};
4) ARTM_LDA_a=b=10-4 — модель *LDA* из пакета *BigARTM* с инициализацией параметров alpha и beta значениями 10^{-4};
5) *ARTM* — модель *ARTM* без регуляризации (*PLSA*);
6) *ARTM_phi*-2 — модель *ARTM* с разреживанием матрицы *Phi, tau*=-2;
7) *ARTM_theta*-2 — модель *ARTM* с разреживанием матрицы *Theta, tau*=-2;
8) *ARTM_decor*-2 — модель *ARTM* с декоррелированием тем, *tau*=-2;
9) *ARTM_plan*-2 — модель *ARTM* с применением последовательности разреживающих регуляризаторов при *tau*=-2 (по 10 итераций) для матриц *Phi, Theta* и декоррелирующего регуляризатора.

[1] https://bigartm.org/.

[2] https://pythonru.com/biblioteki/gensim.

[3] Python wrapper for Latent Dirichlet Allocation (LDA) from MALLET, the Java topic modelling toolkit - https://radimrehurek.com/gensim_3.8.3/models/wrappers/ldamallet.html

Цель экспериментов - отыскание значений коэффициентов регуляризации для подхода *ARTM*. Общее количество итераций (проходов по коллекции документов) для каждой модели равно 30.

На рисунках 2-5 представлены значения различных метрик - когерентность *UMass*, сумма вероятностей верхних десяти токенов темы матрицы *Phi*, количество околонулевых (находящихся в интервале [0, 10^{-4}]) значений элементов матриц *Phi* и *Theta* в зависимости от количества тем для тематических моделей, полученных с помощью метода *LDA* и подхода *ARTM*. Метрики рассчитываются для каждой темы отдельно. На графиках представлены усреднённые (медианные) значения для каждой тематической модели.

Доля околонулевых элементов в матрице *Phi* для различных моделей показывает сходное поведение (рисунок 4). Наблюдается резкий рост общей разреженности и выход на плато около значения 1.0, что соответствует полному «занулению» матрицы *Phi*.

Судить о преимуществе одной из моделей лишь на основании метрик на рисунках 2-5 не представляется возможным. Действительно, с ростом количества тем разреженность матриц *Phi* и *Theta* повышается, в матрицах увеличивается количество нулевых значений в случае применения подхода *ARTM* и околонулевых значений в случае применения метода *LDA*. Изменение доли околонулевых элементов во всей матрице в зависимости от количества тем показано на рисунках 4 и 5. Разреженность рассчитывается как отношение количества околонулевых элементов матрицы к общему количеству элементов матрицы. Следует отметить, что на рисунках 4-7 графики модели *ARTM_decor* и модели *ARTM* совпадают.

Интересно оценить разреженность отдельных тем. Тема представляется столбцом в матрице *Phi*. Разреженность темы определяется количеством околонулевых значений в соответствующем столбце матрицы *Phi*. На рисунке 6 показано изменение разреженности по темам в зависимости от их количества в модели.

Для наглядности на рисунке 6 продублирована доля околонулевых элементов в матрице *Phi* тематических моделей (показана на рисунке 4), которые в легенде рисунка 6 отмечены префиксом «*ttl_*». Остальные обозначения легенды соответствуют обозначениям на рисунке 2. Разреженность по темам рассчитывается как отношение тем, в которых все значения околонулевые (лежащие в интервале [0, 10^{-4}]), к общему количеству тем в модели.

Разреженность по темам демонстрирует более сложное по сравнению с общей разреженностью по матрицам поведение для разных моделей. Только одна из моделей (*ARTM_theta*-2) выявила тенденцию к полному «занулению» отдельных тем.

Разреженность по темам в части их верхних токенов (рисунок 7) рассчитывается как отношение количества тем, в которых имеется менее 10 неоколонулевых (не лежащих в интервале [0, 10^{-4}]) значений, к общему числу тем в модели. Можно предположить, что темы представленные небольшим числом токенов с ненулевым значением *Phi*, отражают долю потенциально пригодных для интерпретации тем в модели.

Существенной метрикой тематической модели является полнота охвата и использование в темах всех токенов словаря. В матрице *Phi* этот факт представляется отсутствием нулевых строк. Наличие пустых строк в матрице *Phi* свидетельствует о разреженности матрицы *Phi* по токенам. Разреженность матрицы *Phi* по токенам рассчитывается как отношение количества строк, заполненных нулевыми (или околонулевыми) элементами, к общему количеству строк. На рисунке 8 показана зависимость разреженности матрицы *Phi* по токенам от количества тем в модели. Для оценки разреженности используются не абсолютно нулевые значения, а интервал [0, 10^{-4}]. С учетом этого, разреженность матрицы *Phi* по строкам характеризует долю токенов словаря, которые почти никогда не используются в темах, т.е. имеют крайне низкую вероятность встретиться в любой теме тематической модели.

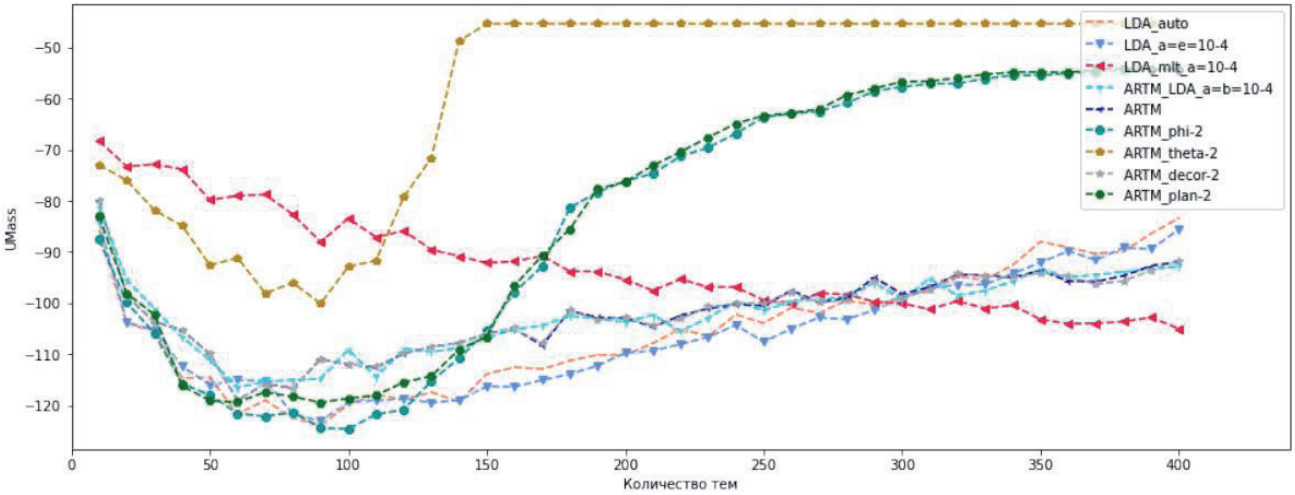


Рисунок 2 — Значения метрики когерентности *UMass* тематических моделей, полученных методами *LDA* и *ARTM* в зависимости от количества тем

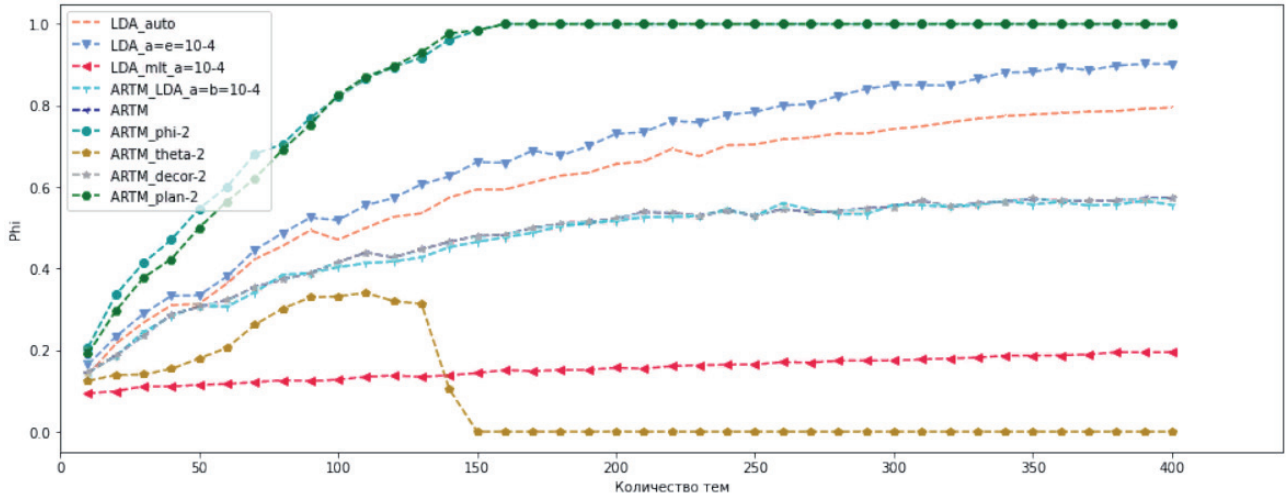


Рисунок 3 — Медианы сумм вероятностей верхних десяти токенов темы (*Phi*) в зависимости от количества тем

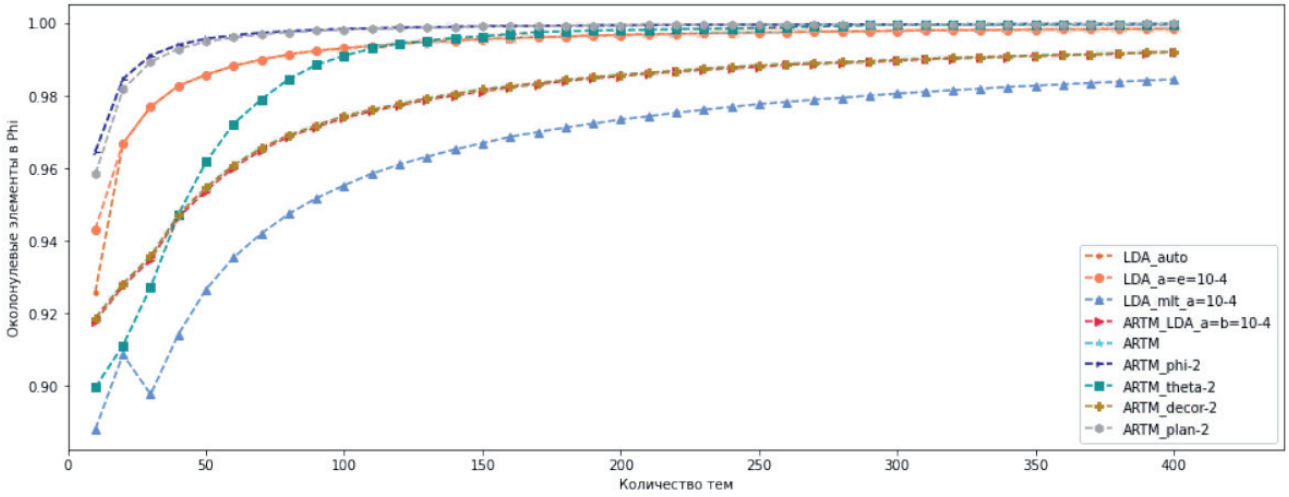


Рисунок 4 — Доля околонулевых элементов в матрице *Phi*

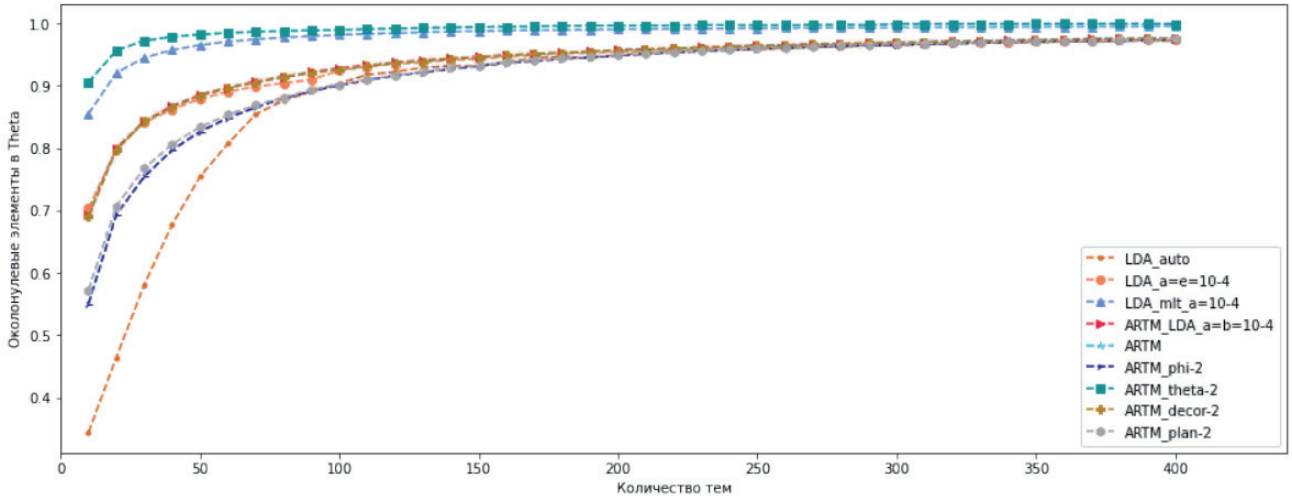


Рисунок 5 — Доля околонулевых элементов в матрице *Theta*

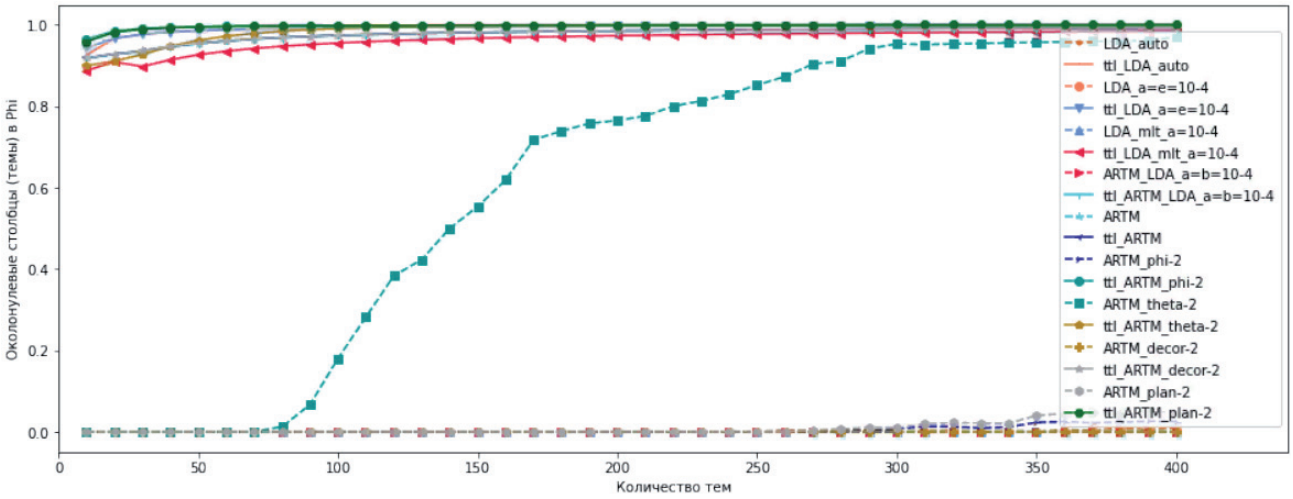


Рисунок 6 — Доля столбцов в матрице *Phi*, в которых все элементы околонулевые

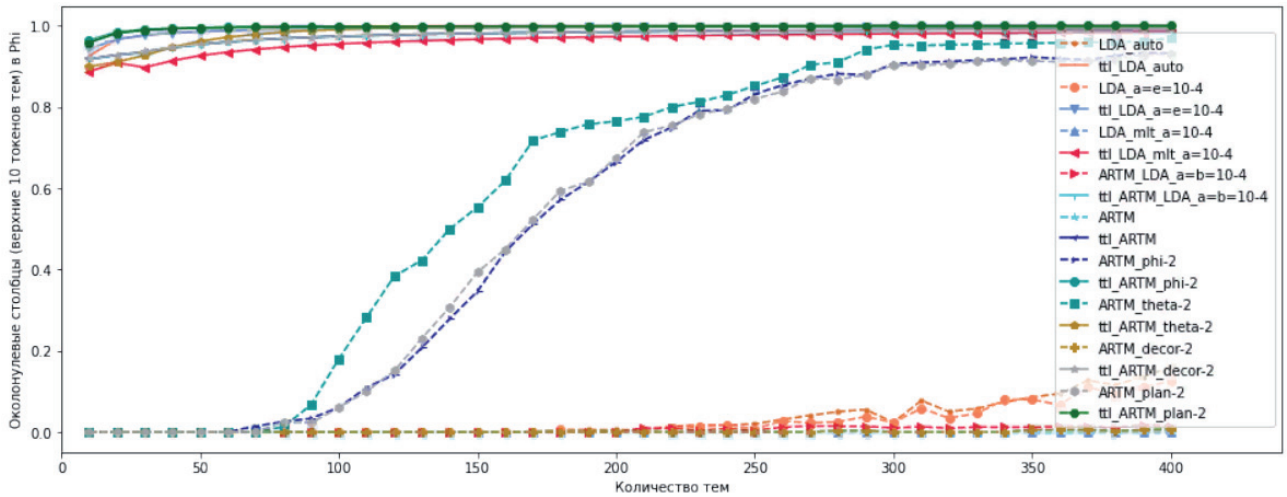


Рисунок 7 — Доля столбцов в матрице *Phi*, десять верхних токенов которых содержат околонулевые элементы

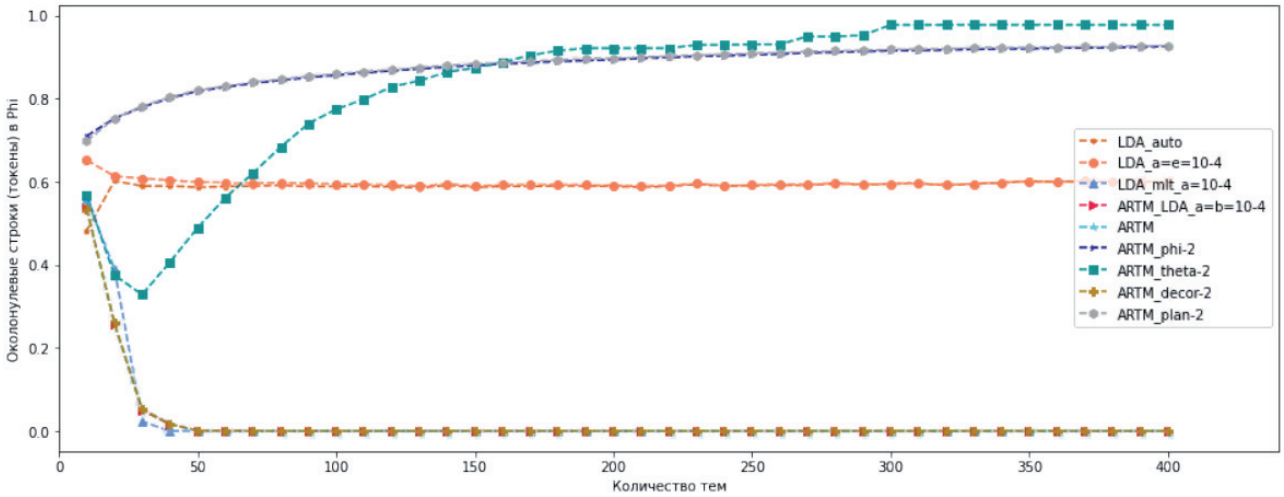


Рисунок 8 — Доля околонулевых строк в матрице *Phi*
(т.е. доля токенов словаря, которые не участвуют ни в одной из тем модели)

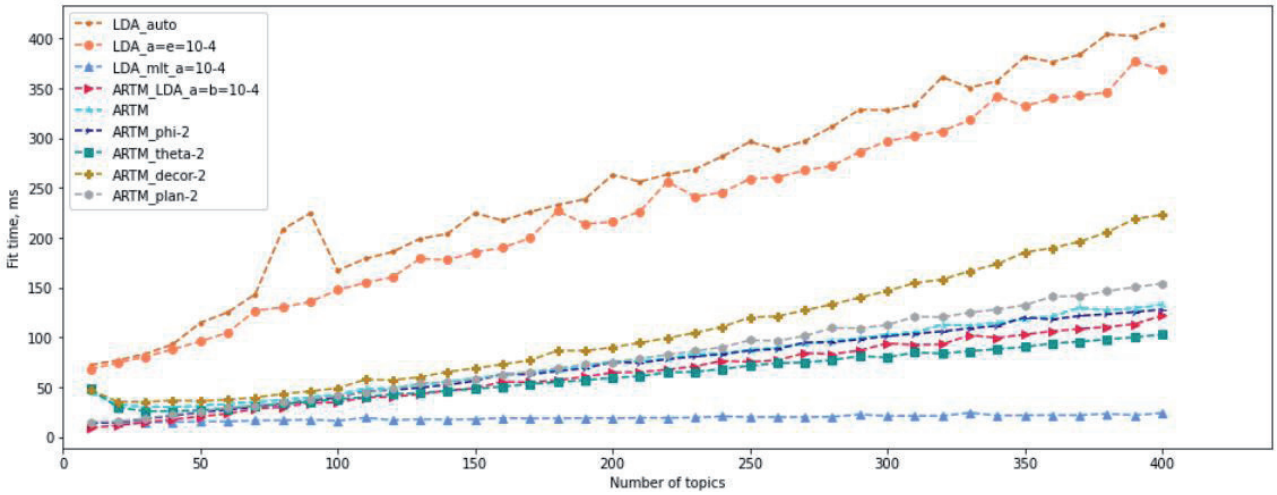


Рисунок 9 — Время обучения модели для разных методов в зависимости от количества тем

В работе был проведён тест на время обучения модели. В отличие от работы [1] здесь использовано большее количество моделей, присутствует библиотека *Gensim* (*Mallet*, обозначена *LDA_mallet*), максимальное количество тем составляет 400 (рисунок 9). В таких условиях подход *ARTM* находится на втором месте, однако время обучения сопоставимо с лидером и не является критично завышенным. Время обучения *ARTM* зависит от количества проходов по коллекции (в данном случае 30), т.е. результаты можно улучшить.

3 Анализ результатов

Цель проведённых экспериментов состояла в поиске средств и методов улучшения результатов тематического моделирования. Найденные и протестированные закономерности показали, что классические метрики, используемые для оценки качества тематических моделей, полученных с помощью *ARTM*, имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при выборе параметров моделирования.

В результате экспериментов выявлено, что хотя когерентность *UMass* при применении *ARTM* с регуляризаторами возрастает, матрицы, а самое главное, темы или верхние токены тем могут получаться нулевыми. Такие темы вряд ли можно считать корректными или по-

лезными. Вероятнее всего, они требуют дополнительной обработки (или исключения), а, возможно, введения новых штрафных слагаемых в метрику когерентности. В таких условиях полагаться только на среднюю когерентность всех тем тематической модели при оценке качества темы становится невозможным.

У метода *LDA* значения элементов матриц уменьшаются значительно медленнее, *LDA* не допускает нулевых значений в матрицах — значения становятся близкими к нулю. Чтобы отразить долю малозначимых элементов матриц на рисунках 3-7, эмпирическим путём был установлен порог близости к нулю равный 10^{-4}.

ARTM - сравнительно новый подход и не все метрики когерентности пригодны для оценки тематических моделей, полученных с его помощью. Эта непригодность может быть объяснена тем, что метрики когерентности типа *UMass* и *UCi* изначально не рассчитаны на наличие нулевых вероятностей в матрицах.

Выделены следующие возможные причины некорректной работы метрик когерентности.

- По расчётной формуле значение метрики *Umass* нулевой темы может быть больше, чем ненулевой темы, что вносит неверный вклад в метрику.
- Особенность документов СС — слишком короткие документы (посты), — поэтому может сокращаться взаимная встречаемость терминов.
- Метрика когерентности темы вполне корректна для расчёта когерентности одной темы. Когда имеется несколько тем, в процессе регуляризации некоторые темы «зануляются». Т.е. метрика подходит для отдельных тем, но когда необходимо оценить тематическую модель в целом (множество тем для сообществ СС) более высокие значениями когерентности могут получить плохие нулевые темы.
- В [27] отмечено, что метрики когерентности, подобные *UMass* и *UCi*, как правило берут лишь 10 верхних токенов для темы, которые в корпусе текстовой коллекции составляют 1-2 %, причём доля текста, покрываемая верхними токенами, никак не контролируется. Возможно, что в коротких текстах СС эта доля ещё меньше.

Названные причины были учтены при разработке метрик качества тематических моделей, рассмотренных в экспериментальной части данной статьи.

4 Выводы

Данная работа направлена на обоснование выбора подхода *ARTM* для моделирования сообществ СС. Ранее, используя *ARTM* без настройки регуляризаторов, авторам данной работы не удалось получить тематические модели, превосходящие по значениям автоматизированных метрик когерентности тематические модели, полученные с помощью метода *LDA*. Поскольку *ARTM* обладает ключевым преимуществом для моделирования сообществ СС — мультимодальностью, было решено провести исследование с использованием базовых регуляризаторов *ARTM*. Для сравнения в качестве опорного использован метод *LDA* и подход *ARTM* без регуляризации (т.е. *PLSA*).

Исследования показали, что подход *ARTM* с регуляризацией сопоставим с другими методами тематического моделирования по значениям метрики когерентности *UMass* и сумме вероятностей верхних десяти токенов темы. Было обнаружено, что метрика когерентности *UMass* не всегда подходит для автоматизированной оценки качества тематических моделей, полученных с помощью метода *ARTM* при использовании регуляризаторов. Поэтому предложено несколько дополнительных метрик, которые могут быть полезными при оценивании качества тематической модели.

Результаты данной работы позволяют надеяться на улучшение качества тематических моделей при использовании в работе ИАС поддержки управления региональным развитием.

Список источников

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

[2] ***Смирнов С.В.*** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. 2012. №2. С. 16-24.

[3] ***Fedorov A.M., Datyev I.O. Shchur A.L.*** Social Media Communities Topic Modeling // In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds.): Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 231. Springer, Cham, 2021. P. 605-614. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_50.

[4] ***Mimno D. Wallach H., Talley Ed., Leenders M., McCallum A.*** Optimizing semantic coherence in topic models // In: Proc. of the 2011 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing, Edinburgh, Scotland, UK. - Association of Computational Linguistics, 2011. P.262-272.

[5] ***Newman D. Lau J.H., Grieser K., Baldwin T.*** Automatic evaluation of topic coherence // In: Human Language Technologies: The 2010 Annual Conf. of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (HLT 2010). - Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, 2010. P.100-108.

[6] ***Vorontsov K., Potapenko A.*** Additive regularization of topic models. // Mach Learn 101. 2015. P. 303-323. https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6.

[7] ***Hofmann T.*** Probabilistic latent semantic indexing // In: Proc. of the 22nd annual international ACM SIGIR conf. on Research and development in information retrieval (SIGIR '99). - Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999. P.50–57. https://doi.org/10.1145/312624.312649.

[8] ***Datyev I.O., Fedorov A.M., Shchur A.L.*** Framework for civic engagement analysis based on open social media data // In: Silhavy R. (ed.): CSOC 2020. AISC. Vol. 1225. Springer, Cham, 2020. P. 586-597. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1_48.

[9] ***Kochedykov D. Apishev M., Golitsyn L., Vorontsov K.*** Fast and Modular Regularized Topic Modelling // In: 21st Conf. of Open Innovations Association (FRUCT). - FRUCT Oy, Helsinki, Uusimaa, Finland, 2017. P. 182-193 https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8250181.

[10] ***Vorontsov K.V.*** Additive regularization for topic models of text collections. *Doklady Mathematics*. 2014. 3(89). P. 301–304. https://doi.org/10.1134/S1064562414020185.

[11] ***Tikhonov A.N., Arsenin V.Y.***: Solution of ill-posed problems. - Winston, Washington DC, 1977.

[12] ***Khalifa O., Corne D.W., Chantler M., Halley F.*** Multi-objective topic modeling // In: Purshouse R.C., Fleming P.J., Fonseca C.M., Greco S., Shaw J. (eds.): Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2013). LNCS. Vol 7811. Springer, Heidelberg, 2013. P. 51-65. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37140-0_8.

[13] ***Si L., Jin R.*** Adjusting mixture weights of gaussian mixture model via regularized probabilistic latent semantic analysis // In: Ho T.B., Cheung D.W.-L., Liu H. (eds.): Proc. of the Ninth Pacific-Asia Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD). LNCS. Vol. 3518. Springer, 2005. P. 622– 631.

[14] ***Chien J.-T., Wu M.-S.*** Adaptive bayesian latent semantic analysis // IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2008. Vol. 1(16). P. 198–207.

[15] ***Larsson M.O., Ugander J.*** A concave regularization technique for sparse mixture models // In: Shawe Taylor J., Zemel R., Bartlett P., Pereira F., Weinberger K .(eds.): Advances in Neural Information Processing Systems 24 (NIPS 2011), 2011. P. 1890–1898.

[16] ***Воронцов К.В., Потапенко А.А.*** Модификации EM-алгоритма для вероятностного тематического моделирования // Машинное обучение и анализ данных. 2013. Т. 1, № 6. С. 657-686.

[17] ***Vorontsov K. Potapenko A., Plavin A.*** Additive Regularization of Topic Models for Topic Selection and Sparse Factorization // In: Gammerman A., Vovk V., Papadopoulos H. (eds.): Statistical Learning and Data Sciences (SLDS 2015). LNCS. Vol. 9047. Springer Cham, 2015. P.193-202. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17091-6_14.

[18] ***Chirkova N.A., Vorontsov K.V.*** Additive Regularization for Hierarchical Multimodal Topic Modeling. *Machine Learning and Data Analysis*. 2016. Vol. 2. Issue 2. P. 187–200. https://doi.org/10.21469/22233792.2.2.05.

[19] ***Янина А.О., Воронцов К.В.*** Мультимодальные тематические модели для разведочного поиска в коллективном блоге // Машинное обучение и анализ данных. 2016. №2(2). С. 173–186. https://doi.org/10.21469/22233792.2.2.04.

[20] ***Apishev M., Koltcov S., Koltsova O., Nikolenko S., Vorontsov K.*** Additive Regularization for Topic Modeling in Sociological Studies of User-Generated Texts // In: Sidorov G., Herrera-Alcántara O. (eds.): Advances in Computational Intelligence (MICAI 2016). LNCS. Vol. 10061. SpringerCham, 2017. P. 169-184. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62434-1_14.

[21] Bulatov V., Alekseev V., Vorontsov K., Polyudova D., Veselova E., Goncharov A., Egorov E. TopicNet: Making Additive Regularisation for Topic Modelling Accessible // In: Proc. of the 12th Language Resources and Evaluation Conf. - European Language Resources Association, Marseille, France, 2020. P. 6745–6752. https://aclanthology.org/2020.lrec-1.833.pdf.

[22] ***Veselova E., Vorontsov K.*** Topic Balancing with Additive Regularization of Topic Models // In: Proc. of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop, Online. - Association for Computational Linguistics, 2020. P. 59–65. https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-srw.9

[23] ***Ирхин И.А., Воронцов К.В.*** Сходимость алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей // Труды института математики и механики УРО РАН. 2020. №3(26). С. 56–68. https://doi.org/10.21538/0134-4889-2020-26-3-56-68

[24] ***Сухарева А.В., Воронцов К.В.*** Построение полного набора тем вероятностных тематических моделей // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2019. Т. 23, № 4. С. 7-23.

[25] ***Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I.*** Latent Dirichlet allocation // Journal of Machine Learning Research. 2003. No. 3. P. 993-1022.

[26] ***Wallach H.M., Mimno D.M., McCallum A.*** Rethinking lda: Why priors matter. // In: NIPS. Vol. 22. 2009. P. 1973–1981.

[27] ***Alekseev V.A., Bulatov V.G., Vorontsov K.V.*** Intra-text coherence as a measure of topic models' interpretability // In: Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proc. of the Int. Conf. “Dialogue 2018” (Moscow, May 30 - June 2, 2018). P. 1-13. https://www.dialog-21.ru/media/4281/alekseevva.pdf

Сведения об авторах

Датьев Игорь Олегович 1981 г. рождения. Окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета (2004). К.т.н. (2011). Учёный секретарь Института информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН. Автор более 100 научных работ в области разработки моделей и технологий для региональных информационно-коммуникационных систем. Author ID (РИНЦ): 180256; Author ID (Scopus): 56070103900; Researcher ID (WoS): J-1839-2018. *datyev@iimm.ru*. ✉

Федоров Андрей Михайлович 1978 г. рождения. Окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета (2000). К.т.н. (2005). Заместитель директора по научной работе Института информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН. С 2000 г. преподаёт в филиале Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты, доцент кафедры информатики и вычислительной техники. Область научных интересов - разработка моделей и технологий информационной поддержки для регионального управления. Author ID (RSCI): 4285-9780; Author ID (Scopus): 57203929412; Researcher ID (WoS): D-5859-2016. *fedorov@iimm.ru*.

Поступила в редакцию 11.04.2022, после рецензирования 12.05.2022. Принята к публикации 06.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199

Additive regularization for topic modeling of social media communities

© 2022, I.O. Datyev, A.M. Fedorov

Institute for Informatics and Mathematical Modeling, Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

The task of modeling communities (groups) of users in social media is relevant in the framework of information support for decision-making at different levels of government. For automated extraction of the meaning of textual and related information, topic modeling methods are used. This article presents the experience of improving the results of social networks communities topic modeling using the Additive Regularization for Topic Modeling (ARTM). The improvement of the results is achieved through the use of basic regularizers available in the open-source software BigARTM. Topic models obtained using regularized ARTM are compared with topic models obtained by Latent Dirichlet Allocation and Probabilistic Latent Semantic Analysis. The experiments were carried out on a dataset, containing preprocessed texts of posts from communities of an online social network. In particular, the quality of topic models in terms of coherence, the purity of topics, and the sparsity of the distribution matrices are compared. Disadvantages of coherence metrics for assessing the quality of topic models obtained using the ARTM method are discussed. Additional metrics are proposed that can be used for assessing the quality of topic models. Conclusions are drawn about the suitability of the ARTM approach for modeling communities of online social networks. The results of this work can be applied in the development of information and analytical systems for supporting the management of regional development.

Key words: *regional development management, information and analytical systems, social network communities, topic modeling methods, coherence metrics.*

For citation: *Datyev IO, Fedorov AM.* Additive regularization for topic modeling of social media communities [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 186-199. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199.

Financial Support: The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Topic title: Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data (reg. no. 122022800551-0).

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of Figures

Figure 1 - “Society” module of IAS in the structure of regional development management
Figure 2 - Values of the UMass coherence metric for topic models obtained by LDA and ARTM methods depending on the number of topics
Figure 3 - Median of the probabilities sum of the top ten tokens (Phi), varying the number of topics
Figure 4 - The proportion of near-zero elements in the matrix Phi
Figure 5 - The proportion of near-zero elements in the matrix Theta
Figure 6 - The proportion of columns in the Phi matrix in which all elements are near-zero
Figure 7 - The proportion of columns in the Phi matrix whose top ten tokens contain near-zero elements
Figure 8 - The proportion of near-zero rows in the Phi matrix (i.e. the proportion of dictionary tokens that are not represented in any of the model topics)
Figure 9 - Model fit time (milliseconds) for different methods, varying the number of topics

References

[1] ***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.

[2] ***Smirnov SV.*** Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; No. 2: 16-24.

[3] ***Fedorov AM, Datyev IO, Shchur AL.*** Social Media Communities Topic Modeling. In: Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (eds.): Data Science and Intelligent Systems. CoMeSySo 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 231. Springer, Cham, 2021: 605-614. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_50.

[4] ***Mimno D, Wallach H, Talley Ed, Leenders M, McCallum A.*** Optimizing semantic coherence in topic models. In: Proc. of the 2011 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (Edinburgh, Scotland, UK). Association of Computational Linguistics, 2011: 262–272.

[5] ***Newman D, Lau JH, Grieser K, Baldwin T.*** Automatic evaluation of topic coherence. In: Human Language Technologies: The 2010 Annual Conf. of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (HLT 2010, Stroudsburg). Association for Computational Linguistics, 2010: 100–108.

[6] ***Vorontsov K, Potapenko A.*** Additive regularization of topic models. Mach Learn. 2015; 101: 303–323. https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6.

[7] ***Hofmann T.*** Probabilistic latent semantic indexing. In: Proc. of the 22nd annual international ACM SIGIR conf. on Research and development in information retrieval (SIGIR '99). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999: 50–57. https://doi.org/10.1145/312624.312649.

[8] ***Datyev IO, Fedorov AM, Shchur AL.*** Framework for civic engagement analysis based on open social media data. In: Silhavy R (ed.) CSOC 2020. AISC, vol. 1225. Springer, Cham, 2020: 586–597. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51971-1_48.

[9] ***Kochedykov D, Apishev ., Golitsyn L, Vorontsov K.*** Fast and Modular Regularized Topic Modelling. In: 21st Conf. of Open Innovations Association (FRUCT). FRUCT Oy, Helsinki, Uusimaa, Finland, 2017: 182-193 https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8250181.

[10] ***Vorontsov KV.*** Additive regularization for topic models of text collections. Doklady Mathematics. 2014; 3(89): 301–304. https://doi.org/10.1134/S1064562414020185.

[11] ***Tikhonov AN, Arsenin VY.*** Solution of ill-posed problems. Winston, Washington DC, 1977.

[12] ***Khalifa O, Corne DW, Chantler M, Halley F.*** Multi-objective topic modeling. In: Purshouse RC, Fleming PJ, Fonseca CM, Greco S, Shaw J (eds.): Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2013). LNCS. Vol. 7811. Springer, Heidelberg, 2013: 51–65. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37140-0_8.

[13] ***Si L, Jin R.*** Adjusting mixture weights of gaussian mixture model via regularized probabilistic latent semantic analysis. In: Ho TB, Cheung D.W-L, Liu H. (eds.): Proc. of the Ninth Pacific-Asia Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD). LNCS. Vol. 3518. Springer, 2005: 622– 631.

[14] ***Chien J-T, Wu M-S.*** Adaptive bayesian latent semantic analysis. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2008; 1(16): 198–207.

[15] ***Larsson MO, Ugander J.*** A concave regularization technique for sparse mixture models. In: Shawe Taylor J, Zemel R, Bartlett P, Pereira F, Weinberger K (eds.): Advances in Neural Information Processing Systems 24 (NIPS 2011). 2011: 1890–1898.

[16] ***Vorontsov KV, Potapenko AA.*** EM-like algorithms modification for probabilistic topic modeling [In Russian]. Machine learning and data analysis. 2013; vol. 1, No. 6: 657–686.

[17] ***Vorontsov K, Potapenko A, Plavin A.*** Additive Regularization of Topic Models for Topic Selection and Sparse Factorization. In: Gammerman A, Vovk V, Papadopoulos H (eds.): Statistical Learning and Data Sciences (SLDS 2015). LNCS. Vol. 9047. Springer, Cham, 2015: 193-202. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17091-6_14.

[18] ***Chirkova NA, Vorontsov KV.*** Additive Regularization for Hierarchical Multimodal Topic Modeling. Machine Learning and Data Analysis. 2016; 2(2): 187–200. https://doi.org/10.21469/22233792.2.2.05.

[19] ***Ianina A, Vorontsov KV.*** Multimodal topic modeling for exploratory search in collective blog [In Russian]. Machine Learning and Data Analysis. 2016; 2(2): 173–186. https://doi.org/10.21469/22233792.2.2.04.

[20] ***Apishev M, Koltcov S, Koltsova O, Nikolenko S, Vorontsov K.*** Additive Regularization for Topic Modeling in Sociological Studies of User-Generated Texts. In: Sidorov G, Herrera-Alcántara O (eds.): Advances in Computational Intelligence. MICAI 2016. LNCS. Vol. 10061. Springer, Cham, 2017: 169-184. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62434-1_14.

[21] ***Bulatov V, Alekseev V, Vorontsov K, Polyudova D, Veselova E, Goncharov A, Egorov E***. TopicNet: Making Additive Regularisation for Topic Modelling Accessible. In: Proc. of the 12th Language Resources and Evaluation Conf. European Language Resources Association, Marseille, France, 2020: 6745–6752 https://aclanthology.org/2020.lrec-1.833.pdf.

[22] ***Veselova E, Vorontsov K.*** Topic Balancing with Additive Regularization of Topic Models. In: Proc. of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop, Online. Association for Computational Linguistics, 2020: 59–65. https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-srw.9.

[23] ***Irkhin IA, Vorontsov KV.*** Convergence of the algorithm of additive regularization of topic models. [In Russian]. Trudy Instituta Matematiki i Mekhaniki URO RAN. 2020; 3(26): 56–68. https://doi.org/10.21538/0134-4889-2020-26-3-56-68.
[24] ***Sukhareva AV, Vorontsov KV.*** Building a complete set of topics for probabilistic topic models [In Russian]. Intelligent systems. Theory and Applications. 2019; 4(23): 7-23.
[25] ***Blei DM, Ng AY, Jordan MI.*** Latent Dirichlet allocation. Journal of Machine Learning Research, 3, 2003: 993-1022.
[26] ***Wallach HM, Mimno DM, McCallum A.*** Rethinking lda: Why priors matter. In NIPS, vol. 22, 2009: 1973–1981.
[27] ***Alekseev VA, Bulatov VG, Vorontsov KV.*** Intra-text coherence as a measure of topic models' interpretability. In: Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference "Dialogue 2018" (Moscow, May 30 - June 2, 2018). 2018: 1-13. https://www.dialog-21.ru/media/4281/alekseevva.pdf.

About the authors

Igor Olegovich Datyev (b. 1981) graduated from the Kola branch of Petrozavodsk State University in 2004. Cand. Sci. Eng. Scientific secretary at the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the KSC RAS. The author of more than 100 scientific papers in the field of development of models and technologies for regional information and communication systems. Author ID (RSCI): 180256; Author ID (Scopus): 56070103900; Researcher ID (WoS): J-1839-2018. *datyev@iimm.ru*. ✉

Andrei Mikhailovich Fedorov (b. 1978). graduated from the Kola branch of the Petrozavodsk State University (2000). Cand. Sci. Eng. (2005). A deputy director for research at the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the KSC RAS. Since 2000, he has been teaching at the Murmansk Arctic State University branch in the Apatity, associate professor of the Department of Informatics and Computer Engineering. The area of scientific interests is currently focused on the development of models and technologies for information support for regional management. Author ID (RSCI): 4285-9780; Author ID (Scopus): 57203929412; Researcher ID (WoS): D-5859-2016. *fedorov@iimm.ru.*

Received April 11, 2022. Revised May 12, 2022. Accepted June 6, 2022.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.5 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217

Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний

© 2022, В.В. Грибова[1,2] ✉, С.В. Паршкова[1], Л.А. Федорищев[1,2]

[1] *Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия*

[2] *Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток, Россия*

Аннотация

Рассматривается метод создания автоматически генерируемых адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний, построенных на основе онтологического подхода, с целью улучшения качества работы по формированию и редактированию баз знаний с учётом специфики предметной области, характеристик пользователя-эксперта и других параметров. Приведено описание концепции авторского подхода к генерации адаптивных интерфейсов используемых онтологий, баз знаний и моделей, как ключевых элементов предложенного подхода. В онтологии знаний о проектировании интерфейса вводятся новые абстрактные элементы, определяющие интерфейсные задачи без явного их визуального и функционального представления. Каждый абстрактный элемент этой онтологии имеет несколько вариантов представления – адаптаций абстрактных элементов. Онтология графических элементов пользовательского интерфейса определяет конкретное визуальное и функциональное представление абстрактных элементов в виде готовых повторно используемых таких элементов. База знаний о проектировании интерфейса содержит правила его формирования в зависимости от структуры онтологии предметной области, характеристик пользователя, требований удобства и простоты использования. Модель интерфейса описывает структуру сформированного адаптивного интерфейса в соответствии с внесёнными индивидуальными предпочтениями пользователя и другой дополнительной информацией. Все рассмотренные онтологии и базы знаний реализованы на платформе *IACPaaS*.

Ключевые слова: *онтология, база знаний, интерфейс, адаптивный интерфейс, генерация интерфейса, шаблоны, WIMP-интерфейс, редактор баз знаний.*

Цитирование: *Грибова В.В., Паршкова С.В., Федорищев Л.А.* Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний // *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2(44). С.200-217. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.

Финансирование: работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 20-07-00670 А).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Интеллектуальные системы с базами знаний (БЗ): экспертные системы, системы поддержки принятия решений, компьютерные тренажёры и др., широко используются во многих предметных областях (ПрО): медицина, экономика, химия и биология, военное дело, инженерное дело, экология, производство, управление процессами, юриспруденция и др. Именно БЗ является «бутылочным горлышком» таких систем [1-4]. Основная сложность связана с их формированием и сопровождением экспертами ПрО. Для упрощения создания и сопровождения БЗ активно применяется онтологический подход, который в настоящее время является стандартом для их создания (см. также [5, 6]). Вместе с тем, наличие онтологии, по которой

формируется БЗ, недостаточно для удобной работы экспертов ПрО. Немаловажное значение имеют также онтологическая модель знаний и пользовательский интерфейс, который является ключевым фактором при принятии решения об использовании программного средства.

Для работы с онтологиями и БЗ применяются различные онтологические редакторы знаний (*IWE, Protégé, OntoEdit, GrOWL, Graphl, RDFGravity, WebVOWL, Ontolingua* и др.). Пользовательские интерфейсы этих редакторов реализуют фиксированный сценарий без возможности настройки и адаптации к потребностям пользователей (некоторые редакторы имеют режимы выбора просмотра информации, но не позволяют редактирование). Объёмы БЗ для интеллектуальных систем включают тысячи и десятки тысяч понятий на разных уровнях иерархии, что является дополнительным фактором, усложняющим использование таких редакторов экспертами ПрО. Актуальной задачей является разработка методов создания редакторов БЗ с адаптивным пользовательским интерфейсом.

Проблеме адаптации пользовательских интерфейсов посвящено большое количество работ. Предложены онтологии для динамического моделирования пользователей, профили которых в дальнейшем могли использоваться для адаптивного поиска требуемой информации и неявного сбора информации с помощью фоновых сервисов (см. например, [7, 8]). В данных работах рассматривается адаптивный поиск с учётом индивидуальных параметров пользователя, но не затрагиваются вопросы выбора интерфейсных элементов и отображения информации, порядка её вывода и т.д.

Предложены различные схемы и алгоритмы разделения интерфейса по уровням абстракции и генерации адаптированного интерфейса на основе онтологий и других элементов [3, 9-12]. В данных работах можно отметить существенный прогресс в адаптивных технологиях интерфейса: рассмотрены различные концепции адаптивных систем для различных устройств и для генерации интерфейса, в том числе в зависимости от меняющихся условий внешней среды. Однако по-прежнему отсутствует связь адаптации интерфейса непосредственно с ПрО и пользователем.

В работах [13, 14] предложены достаточно полноценные концепции адаптивного пользовательского *WIMP*[1]-интерфейса, в том числе так называемые «пластичные» пользовательские интерфейсы. Данные работы посвящены узким задачам построения интерфейса и не решают проблему адаптивного интерфейса на основе онтологии произвольной ПрО.

Общий недостаток отмеченных подходов состоит в том, что они не учитывают в своей структуре онтологии знания, с которыми будет работать интерфейс. Поэтому для улучшения качества работы по формированию и редактированию БЗ на основе онтологий актуальны исследования и разработки в области автоматической генерации адаптивного интерфейса редактора знаний, строящегося с учётом специфики ПрО, характеристик пользователя-эксперта и других параметров, прежде всего, требований удобства использования.

Целью данной работы является детальное описание авторского подхода к разработке адаптивных *WIMP*-интерфейсов на основе онтологии ПрО и онтологической БЗ о проектировании интерфейсов.

1 Концепция разработки *WIMP*-интерфейсов для редакторов баз знаний

В работах [15, 16] описан подход к автоматической генерации редакторов знаний, основная идея которого заключается в следующем: на основе знаний о проектировании интерфейса, онтологии ПрО и модели пользователя автоматически генерируется пользовательский интерфейс редактора знаний (см. рисунок 1).

[1] WIMP - «Windows, Icons, Menus, Pointers» — окна, значки, меню, указатели.

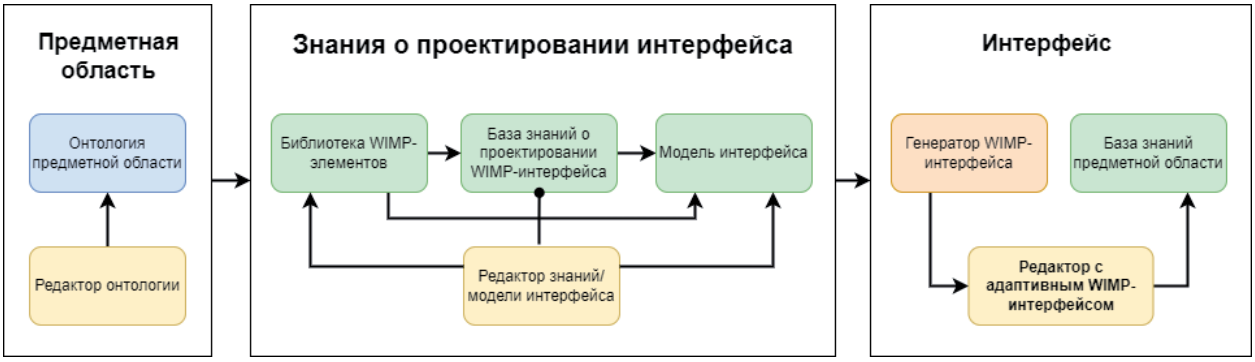


Рисунок 1 – Формирование редактора с адаптивным *WIMP*-интерфейсом

Реализация подхода включает следующие работы.

1) *Введение абстрактных элементов интерфейса.* Они определяют интерфейсные задачи без явного определения их визуального и функционального представления. Каждый абстрактный элемент интерфейса имеет несколько вариантов представления – *адаптаций абстрактных элементов*. Выбор конкретной адаптации определяется в зависимости от выполнения ряда условий (операционной системы, устройства, структуры информации, типа пользователя, его предпочтений, среды использования и др.). Абстрактные элементы интерфейса используются для описания знаний о проектировании интерфейса: для каждой интерфейсной задачи (абстрактного элемента интерфейса) и множества условий описываются возможные способы их отображения в *WIMP*-интерфейсе.
2) *Формирование базы WIMP-элементов на основе онтологии WIMP-элементов интерфейса.* Каждая адаптация абстрактного элемента имеет конкретное визуальное и функциональное представление в виде готовых повторно используемых *WIMP*-элементов, таких как *списки, кнопки, меню и т.д.*
3) *Формирование БЗ о проектировании WIMP-интерфейса.* БЗ содержит правила его формирования в зависимости от структуры онтологии ПрО, характеристик пользователя, требований удобства использования.
4) *Построение модели интерфейса,* которая определяет иерархию, расположение и порядок отображения интерфейсных элементов в процессе формирования БЗ, принимая во внимание предпочтения пользователя: интерфейсный стиль, тип диалога, уровень владения компьютером и другую информацию о нём.
5) *Разработка генератора интерфейса*, который по онтологии ПрО, БЗ о проектировании интерфейса и модели интерфейса формирует пользовательский интерфейс редактора знаний, ориентированного на конкретного пользователя.

Для реализации предложенного подхода авторами разработаны следующие онтологии:

- онтология БЗ о проектировании *WIMP*- интерфейса;
- онтология *WIMP*-элементов;
- онтология модели интерфейса.

Для формального представления онтологий в работе [17] предложен метаязык, который в течение ряда лет используется на платформе *IACPaaS*. Онтология представляется иерархическим графом, вершинами графа являются термины онтологии, а дуги определяют следующие типы отношений для описания правил порождения знаний на основе онтологии:

- *~copy* — «копия», термин онтологии переносится без изменений в БЗ;
- *~one* — «в точности один», можно породить только один элемент в БЗ, соответствующий термину онтологии;
- *~set* — «непустое множество», возможно порождение одного или нескольких отличающихся по имени элементов по соответствующему термину онтологии;

- *~seq* — «непустая последовательность», порождение элементов в БЗ с автоматически сгенерированной нумерацией (порядком);
- *~copymm* — «возможное отсутствие», аналог «*~copy*», но порождение не является обязательным для полноты базы;
- *~onemm* — «ноль или один», аналог «*~one*», но порождение не является обязательным для полноты базы;
- *~setmm* — «возможно пустое множество», аналог «*~set*», но порождение даже одного элемента не является обязательным для полноты базы;
- *~seqmm* — «возможно пустая последовательность», аналог «*~ seq*», но порождение даже одного элемента последовательности не является обязательным для полноты базы;
- *~proxy* — «прокси», служит для организации порождаемых элементов в условные группы с «невидимым» контейнером.

2 Онтология знаний о проектировании интерфейса

Онтология знаний о проектировании интерфейса определяет соответствия между абстрактными интерфейсными элементами и их возможными представлениями в интерфейсе в зависимости от ряда условий.

Абстрактными интерфейсными элементами (задачами) являются:

- элемент ввода – элемент, предоставляющий возможность ввести данные через подходящий интерфейсный компонент;
- элемент вывода – элемент, обеспечивающий возможность вывести данные через подходящий интерфейсный компонент;
- выбор – элемент для выбора элементов из множества, которое задаётся либо явно, через указание всех элементов, либо генерируется автоматически;
- контейнер – интерфейсный элемент для объединения нескольких элементов интерфейса в рамках одной задачи.

Каждая абстрактная задача имеет свои подзадачи. Например, задача выбора имеет подзадачи: выбор одного варианта из множества, выбор подмножества вариантов из множества.

Можно рассмотреть онтологию абстрактных интерфейсных элементов:

```
~copy Абстрактные интерфейсные элементы {
    ~copy Выбор  {<Уникальные подзадачи>}
    ~copy Ввод {<Уникальные подзадачи>}
    ~copy Вывод  {<Уникальные подзадачи>}
    ~copy Контейнер  {<Уникальные подзадачи>}
}
<Уникальные подзадачи>::{ Уникальная подзадача_i}[2]
~copy<Уникальная подзадача_i>{
    ~copy<Реализация по умолчанию для задачи >
    ~copy Элементы интерфейса {
        ~set Элемент интерфейса {
            ~copy<Данные, влияющие на выбор элемента интерфейса>
            ~copy<Реализация элемента интерфейса>
        }
    }
}
```

Элементы интерфейса – это множество вариантов реализации указанной подзадачи - элементов интерфейсов. Выбор того или иного элемента зависит от условий, которые прописаны внутри каждого элемента.

[2] Каждая из подзадач имеет идентичную структуру.

Реализация по умолчанию для задачи – это базовое преставление абстрактного элемента интерфейса на основе заданного по умолчанию *WIMP*-элемента с конкретными параметрами.

Данные, влияющие на выбор элемента интерфейса, содержат описание параметров входных данных (элементов знаний), согласно которым выбирается указанный элемент интерфейса для реализации выбранной подзадачи.

```
~copy Данные, влияющие на выбор элемента интерфейса {
    ~copymm Онтологические конструкции { ... }
    ~copymm Особенности данных {
        ~set Особенность [string]
    }
    ~opemm Количество потомков [integer]
    ~opemm Минимальное количество потомков [integer]
    ~opemm Максимальное количество потомков [integer]
}
```

Онтологические конструкции – описание, содержащее множество условий для определения элемента интерфейса для данного элемента онтологии.

```
~copymm Онтологические конструкции {
    ~copymm Конструкция {
        ~copy Элементы онтологии {
            ~copymm Список или альтернатива {СПИСОК | АЛЬТЕРНАТИВА}
            ~copy Тип элемента { нетерминал | терминал-сорт | терминал-значение}
            ~copymm Тип значения {Строковое | Целое | Вещественное | Логическое | Дата и время | Бинарные значения}
            ~copy Спецификатор (тип отношения) { copy| copymm | one | opemm | list | listmm | set | setmm | seq | seqmm | proxy}
        }
        ~copymm Уровень размещения (глубина вложенности) {1 | >1}
        ~copymmЭлементы онтологии, расположенные на одном уровне {
            ~set->Элементы онтологии { ... }
            ~copymm Элементы онтологии отсутствуют [string]
            ~seqmm Логическая операция И | ИЛИ | НЕ}
        }
        ~copymm Содержимое {
            ~set->Элемент { ... }
            ~seqmm Логическая операция {И | ИЛИ | НЕ}
        }
        ~copymm Количество потомков {
            ~opemm Фиксированное количество потомков
            ~ opemm Минимальное количество потомков
            ~ opemm Максимальное количество потомков
        }
    }
}
```

Каждая *конструкция* содержит: элементы онтологии; уровень размещения; элементы онтологии, расположенные на одном уровне; содержимое; количество потомков.

Элементы онтологии – раздел, который содержит множество элементов онтологии (представленных в виде перечня свойств), которые необходимо преобразовать в элемент интерфейса.

Уровень размещения – указание, на каком уровне в онтологии размещён элемент (по иерархии). Было выявлено, что есть разница в реализации для некоторых элементов, которые могут находиться на первом уровне размещения в онтологии.

Элементы онтологии, расположенные на одном уровне, – список из элементов онтологии, которые могут находиться на одном иерархическом уровне с текущим элементом онтологии.

Содержимое - дочерние элементы для текущего элемента онтологии. Может содержать логическую операцию между элементами.

Количество потомков – описывает границы возможного количества потомков.

Конструкции и их элементы описаны в онтологии, представленной на рисунке 2.

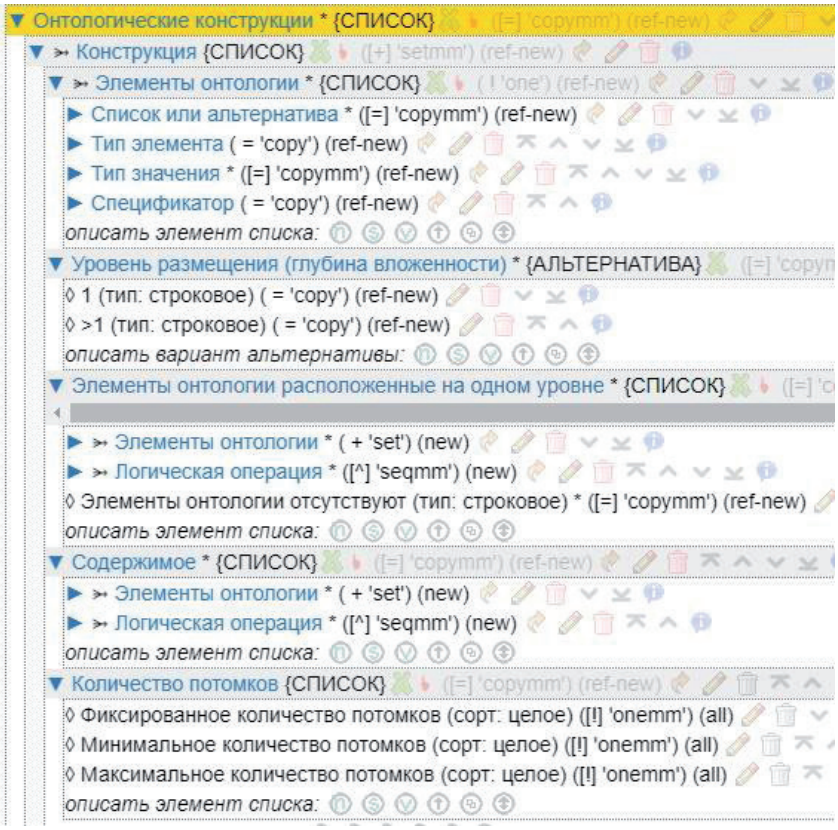


Рисунок 2 – Скриншот раздела «онтологические конструкции» на платформе *IACPaaS*

Особенности данных (знаний) – элемент онтологии, содержащий условия, которые определяют интерфейсный элемент для реализации в зависимости от структуры входных данных (знаний).

Количество потомков определяет условие по числу дочерних элементов. Например, если у элемента «список-выбор» меньше 5 дочерних элементов, то его можно представить в виде группы радиокнопок, если же больше 5, то лучше использовать выпадающий список (см. рисунок 3).

Реализации элемента интерфейса (см. рисунок 4) состоят из множества *Реализаций*. Каждая *Реализация* состоит из двух частей: *Характеристики устройств* (для которых подходит данная реализация) и *Дизайн* – непосредственное определение интерфейсного отображения элемента. Дизайн определяется с помощью элементов *CommonElements* либо через уникальный набор *CSS*-свойств[3]. *CommonElements* – один из *WIMP*-элементов БЗ для применения в данной реализации. *CSS* – описание стилей *WIMP*-элементов: {ширина (элемента), высота, цвет фона, размер текста и др. по аналогии с каскадными таблицами стилей из веб-технологий [18]}.

Онтология *Реализации элемента интерфейса.*

~copy Реализации элемента интерфейса {

~set Реализация {

[3] *CSS - Cascading Style Sheets*, каскадные таблицы стилей.

```
                ~copy Характеристики устройств {
                        ~setУстройство  { ... }
                }
                ~copy Дизайн {
                        ~copy->CommonElements  { ... }
                        ~copy –>CSS{ ... }
                }
        }
}
```

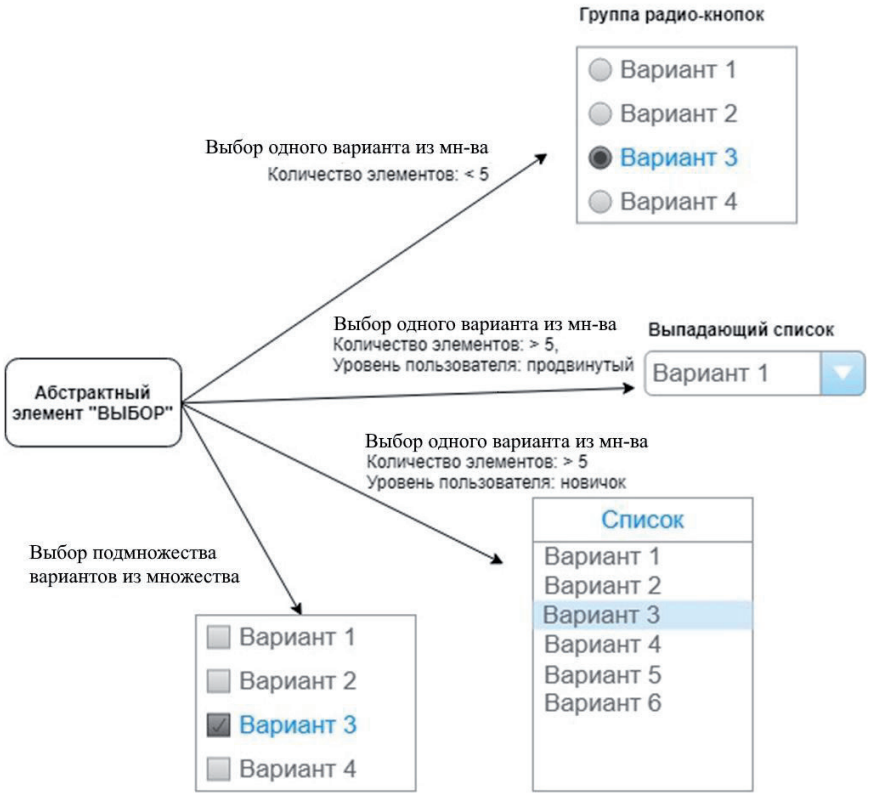


Рисунок 3 – Схема реализации условий абстрактным элементом «Выбор» в редакторе с адаптивным *WIMP*-интерфейсом

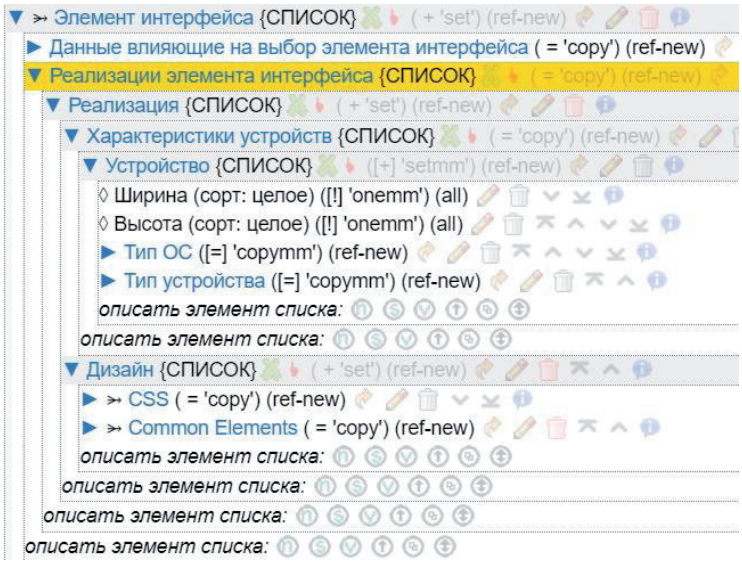


Рисунок 4 – Скриншот раздела онтологии «Реализации элемента интерфейса» на платформе *IACPaaS*

На основе описанной онтологии сформирована БЗ о проектировании интерфейса. Размер базы – 1812 понятий, число отношений – 1864.

На рисунке 5 представлен пример описания абстрактной задачи в БЗ на основе структуры <Выбор одного варианта из множества> в задаче «Выбор»:

~copy Выбор {
~copy Выбор одного варианта из множества {
~copy<Реализация по умолчанию для задачи >
~copy Элементы интерфейса {
~set Элемент интерфейса {
~copy<Данные, влияющие на выбор элемента интерфейса>
~copy<Реализация элемента интерфейса>
}
}
}
}

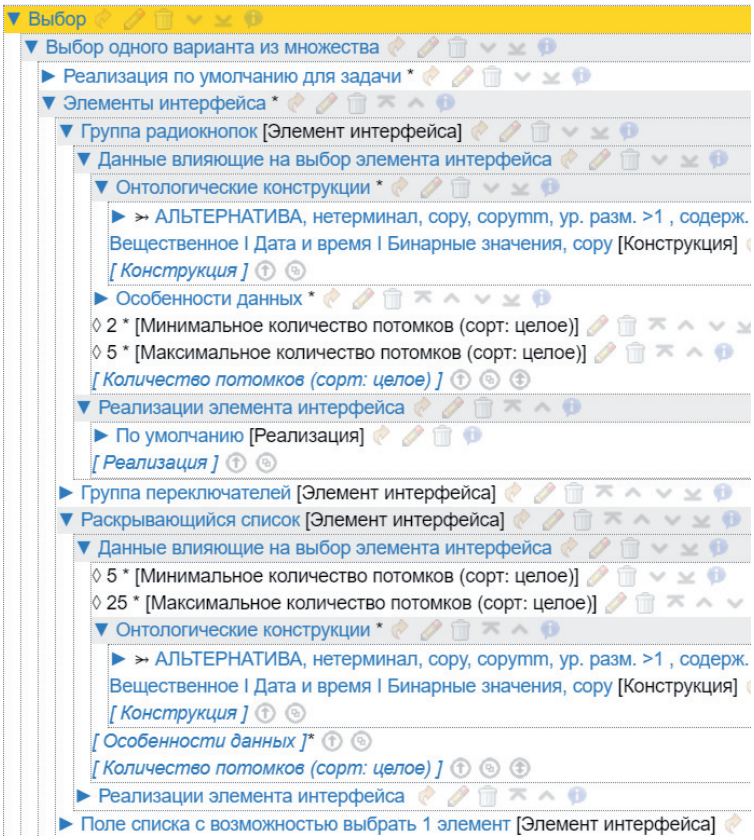


Рисунок 5 – Скриншот фрагмента БЗ о проектировании интерфейса на платформе *IACPaaS*

Иллюстрация адаптивной генерации интерфейсного элемента на основе сформированной БЗ абстрактных элементов по представленной выше онтологии показана на рисунке 6 на примере генерации редактора БЗ по онтологии ПрО.

В представленной на рисунке схеме видно, что для абстрактного элемента «Выбор» заданы несколько возможных вариантов элементов интерфейса: «Группа радиокнопок», «Группа переключателей», «Раскрывающийся список» и др. Для каждого из этих интерфейсных элементов выбора заданы онтологические конструкции, для которых данный элемент может подходить. Например, для группы радиокнопок указаны онтологические конструкции: «Альтернатива, нетерминал, copy, copymm,…». Такие же конструкции заданы и для элемента «Раскрывающийся список». Каждый из этих двух вариантов будет зависеть от

«Данных, влияющих на выбор элемента интерфейса». В первом случае заданы параметры количества элементов от 2 до 5, во втором случае от 5 до 25. Справа на схеме видно, что представленная онтология ПрО соответствует данным элементам интерфейса. Пример БЗ 1 по этой онтологии генерирует в результате группу радиокнопок, Пример БЗ 2 – раскрывающийся список в соответствии с количеством элементов.

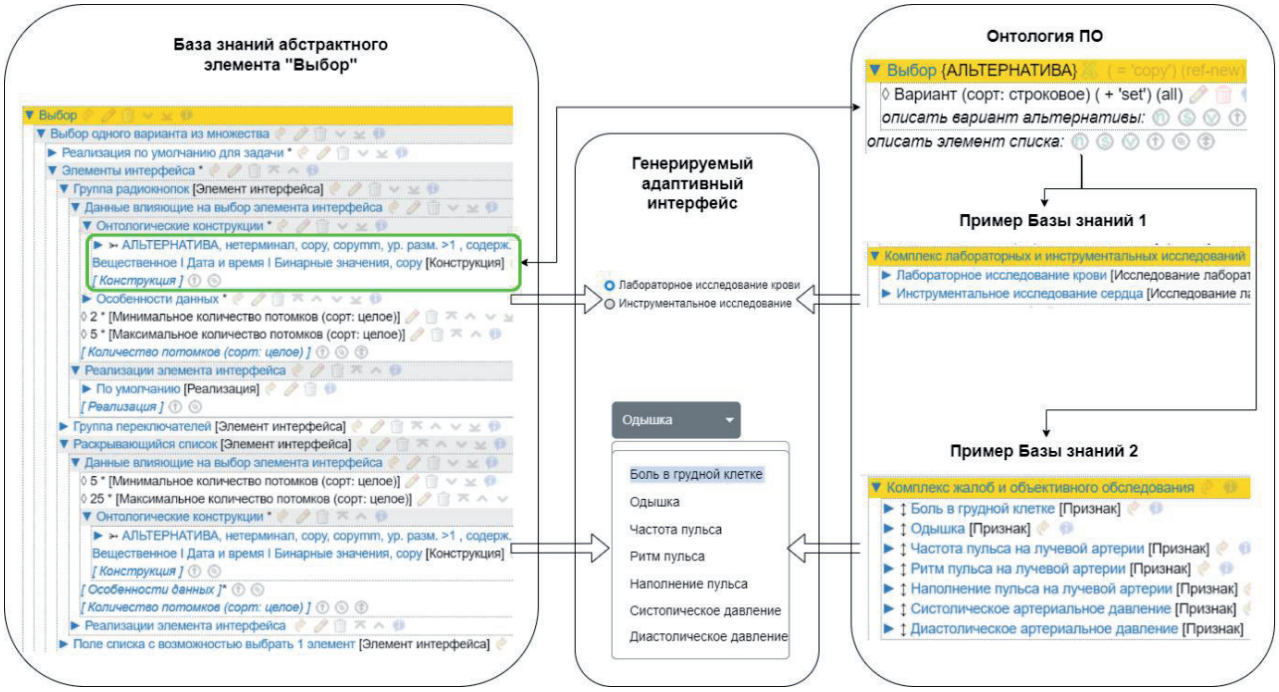


Рисунок 6 – Пример адаптивной генерации интерфейса

3 Онтология *WIMP*-элементов

Онтология *WIMP*-элементов состоит из двух основных разделов:

- множество *WIMP*-элементов (независимые интерфейсные единицы, несущие собственную смысловую и функциональную нагрузку: кнопка, поле ввода, список и др.);
- множество стилей *CSS* (стили определяют оформление внешнего вида интерфейсных элементов, начиная от простых, таких как шрифт, цвет, размер элементов, до составных, содержащих наборы интерфейсных решений).

Онтология WIMP элементов {
~copyCommonElements{...}
~copyCSS {...}
}

Онтология содержит 38 базовых элементов интерфейса <*~copyWIMP*-элементы>, среди которых представлены такие элементы как: кнопка (*Button*), чек-боксы (*CheckboxGroup*), радиокнопки (*RadioButtonGroup*), текст (*Text*), текстовое поле ввода (*Input*), комбинированное поле со списком (*Combobox*), кнопка пошаговой прокрутки (*Stepper*) и др. Структурно каждый из этих элементов в онтологии *WIMP* состоит из некоторого набора уникальных для данного элемента атрибутов и стилей *CSS* (*options*).

~setmm WIMP-элемент {
~copyoptions
<Набор уникальных свойств>}

Элемент интерфейса *Div* является базовым универсальным элементом-контейнером с возможностью включения других элементов. Основная особенность его определения заклю-

чается в «рекурсивности»: *Div* – это *WIMP*-элемент, способный включать как другие элементы, так и элементы того же типа (*Div*). Этот элемент (также как и другие *WIMP*-элементы) содержит собственный набор стилей *CSS*.

```
~set Div: {
    ~set ->Div
    ~set ->CSS
    ~set ->Text
    <... другие элементы>
}
~setmm Text: {
    ~copy->options
    ~onetext
}
```

Кнопка (*Button*) является сложным элементом и состоит из группы более простых элементов. Кнопка всегда содержит оформление блока *CSS*, а так же может содержать текст (*Text*) и пиктограмму (*Ico*), располагаемую на кнопке; подсказку (*Hint*), которая выводится на экран при наведении курсора на кнопку. Помимо этого кнопка содержит раздел, отвечающий за состояния (*States*), в которых она может находиться.

```
~setmm Button: {
    ~copy->options
    ~copymm -> Text
    ~copymm -> Hint
    ~copymm ->Ico
    ~copy states { ~set ->options }
}
```

Текстовое поле ввода (*Input*) содержит текст (*Text*) рядом с полем, описывающий данные, которые необходимо ввести. Возможно присутствие элемента (*Div*), отвечающего за токенизатор ввода, и наличие текста внутри поля (*Text*), подсказывающего возможное вводимое значение.

```
~setmm Input: {
    ~copy->options
    ~copy -> Text
    ~copymm ->Text
    ~copymm ->Div
}
```

WIMP-элементы *Combobox* и *RadioGroup* характерны тем, что определяют не один элемент, а несколько. Элементы *Combobox* и *RadioGroup* в большей степени определяют форму и поведение группы. Каждый из них содержит ссылку на соответствующий элемент и текст (*Text*), отвечающий за заголовок группы.

```
~setmmRadioButtonGroup: {
    ~copy -> Checkbox
    ~copy -> Text
    ~copy->options
}
~setmmCheckboxGroup: {
    ~copy ->Radiobutton
    ~copy ->Text
    ~copy->options
}
```

На платформе *IACPaaS* разработана онтология *WIMP* элементов, соответствующая приведённому формальному описанию (см. рисунок 7).

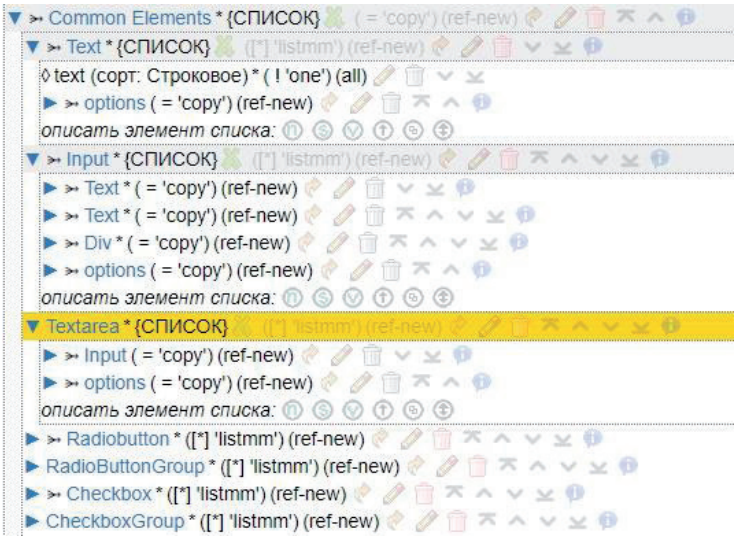


Рисунок 7 – Скриншот фрагмента онтологии *WIMP* элементов

Стили *CSS* определяются в онтологии по принципу максимальной аналогии и сходства с традиционными стилями *CSS*, известными в веб-разработке. Стиль *CSS* определяется парой <*selector*,*options*>:

~copyCSS {
~copyselector {<…>}
~copyoptions {<…>}
}

Селектор (*selector*) так же, как и в традиционных *CSS*, определяет, для каких именно элементов интерфейса применить заданные правила (свойства) и в онтологии определяется так:

~copy selector: {
~set tag: <, Base, Text, Button, Div, List, …>*
~set class: String
~set id: String
}

Тело (*body*) стиля <*~copyoptions*> содержит набор свойств, которые будут применяться для соответствующих селектору элементов. Набор свойств стилей определяется по аналогии с традиционными *CSS* из веб-разработки: ширина, высота, цвет, отступы и т.д.

~copy body: {
~one width
~one height
~one layout: [vertical, horizontal, frame (поверх всех окон), …]
…
}

На рисунке 8 представлено описание фрагмента онтология *CSS*-стилей.

4 Онтология модели интерфейса

Онтология модели интерфейса состоит из двух основных компонентов: {Сохраненные интерфейсы, Информация о пользователе}.

Онтология модели интерфейса {
~copy Сохраненные интерфейсы {…}
~copy Информация о пользователе {…}
}

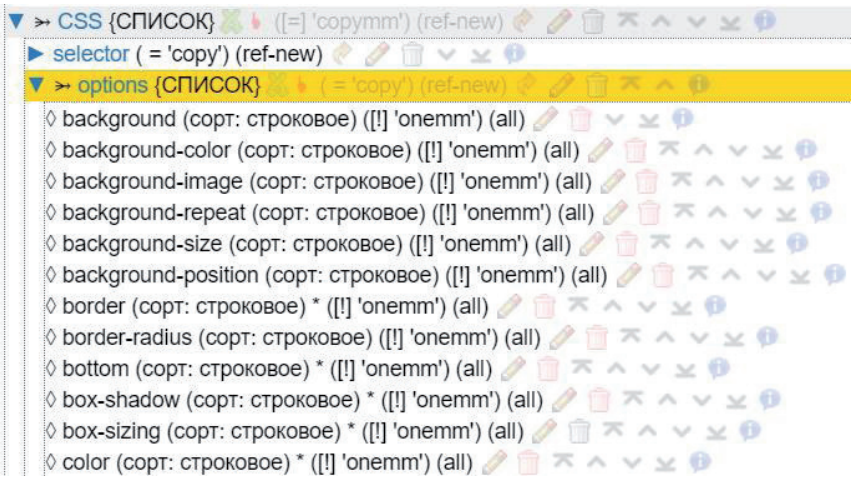


Рисунок 8 – Скриншот фрагмента онтологии *CSS*-стилей

Элемент онтологии «Сохраненные интерфейсы» определяет структуру для сохранения и отображения интерфейса, специфичного для каждого пользователя. Данная структура позволяет запоминать все выбранные настройки и изменения в интерфейсе, сделанные для конкретного пользователя. Индивидуальный интерфейс пользователя состоит из 5 основных элементов: {Размещение элементов, Внешний вид элементов, Шаблон, Вычисляемая информация о поведении пользователя, Общий *CSS*}.

Сохраненные интерфейсы {
~set Имя сервиса {
~set Размещение элементов
~set Внешний вид элементов
~copy Шаблон
~copy Вычисляемая информация о поведении пользователя
~copy Общий CSS
}
}

«Размещение элементов» определяет структуру записи изменений для элементов ПрО, позиции которых были изменены в результате пользовательского редактирования модели интерфейса. «Размещение элементов» - это множество вариантов размещения отдельных элементов онтологии. «Размещение элементов» содержит список «Поэлементная информация», включающий «Элемент онтологии» и «Позиционирование элемента интерфейса»

Размещение элементов {
~set Поэлементная информация {
~copy Элемент онтологии
~copy Позиционирование элемента интерфейса
}
}

«Шаблон» определяет ссылку на один из шаблонов, указанных в онтологии о проектировании интерфейса, он может дополняться новым шаблонами. «Шаблон» – это указатель на то, при каких шаблонах интерфейса может быть выбран и реализован данный элемент интерфейса. У всех элементов есть шаблон по умолчанию. Онтология шаблонов:

Шаблоны {
~set Шаблон {
~set -> Элемент интерфейса {...}
~copy -> Информация о шаблоне {...}
}
}

На рисунке 9 представлен фрагмент онтологии модели интерфейса на платформе *IACPaaS*.

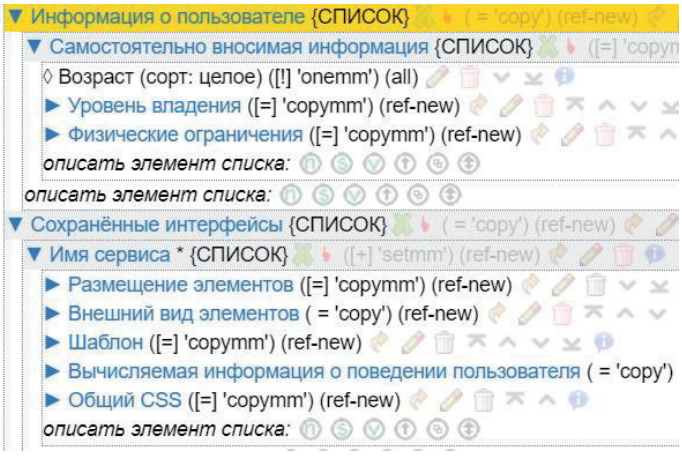


Рисунок 9 – Фрагмент онтологии модели интерфейса

5 Онтология модели пользователя

Для генерации окончательного вида интерфейса большое значение имеют данные, индивидуально характеризующие пользователя интерфейса. Для этого предусмотрена онтология модели пользователя, в которой предусмотрены специальные критерии, помогающие выделить индивидуальные параметры пользователя и содержащиеся в информации о пользователе. «Модель пользователей» включает: {Характеристики пользователей, Вычисляемые характеристики в процессе работы, Особенности реализации, Источники}.

Модели пользователей {
~set Модель {
~copy Характеристики пользователей {…}
~copy Вычисляемые характеристики в процессе работы {…}
~copy Особенности реализации {…}
~copy Источники {…}
}
}

«Характеристики пользователей» включают данные о пользователе: {Возраст, Уровень владения, Физические ограничения}.

Характеристики пользователей {
~set Пользователь {
~copy Возраст {…}
~copy Уровень владения {…}
~copy Физические ограничения {…}
}
}

«Особенности реализации» содержат «Нерекомендуемые элементы» к использованию в рамках данной модели и «Рекомендуемые элементы».

Особенности реализации {
~copyтт Нерекомендуемые элементы
~ copy Рекомендуемые элементы
}

«Нерекомендуемые элементы» содержат список элементов интерфейса, которые не рекомендуется использовать в модели. Приоритет генерации у элементов данного списка меньше, чем у других элементов. Каждый такой элемент интерфейса описывается по аналогии с обычным элементом интерфейса, представленным ранее:

Нерекомендуемые элементы {
~set -> Элемент интерфейса
}

«Рекомендуемые элементы» определяют набор стилей и общих элементов, которые будут присущи данной модели интерфейса:

Рекомендуемые элементы {
~copymm -> Common Elements
~ copy -> CSS
}

Common Elements и *CSS* определяются так же как в онтологии базы *WIMP*-элементов (см. раздел 3). На рисунке 10 представлен фрагмент онтологии «Модель пользователя», реализованный на платформе *IACPaaS*.

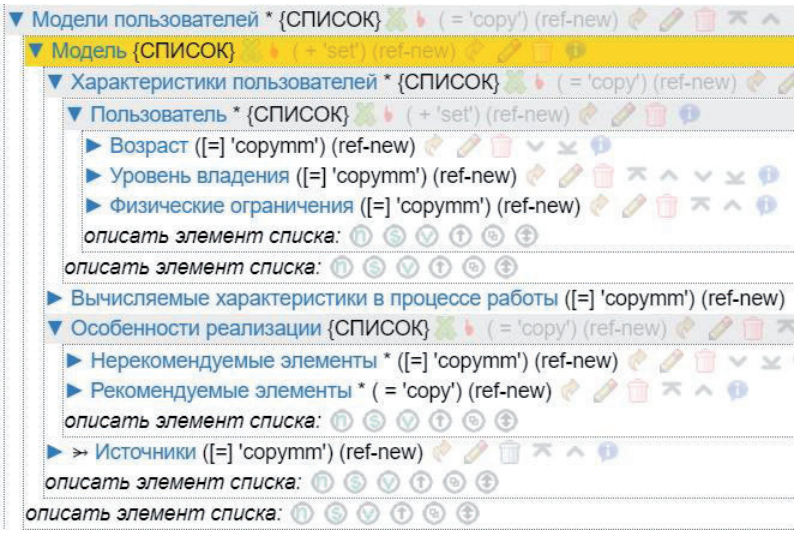


Рисунок 10 – Фрагмент онтологии «Модель пользователя»

Упрощённый пример генерации адаптивного интерфейса с использованием рассмотренных онтологий иллюстрирует рисунок 11. В представленной на рисунке 11 схеме строятся два варианта интерфейса: на основе примера онтологии ПрО (онтологии диагностики) и адаптации по устройству (ПК или смартфон).

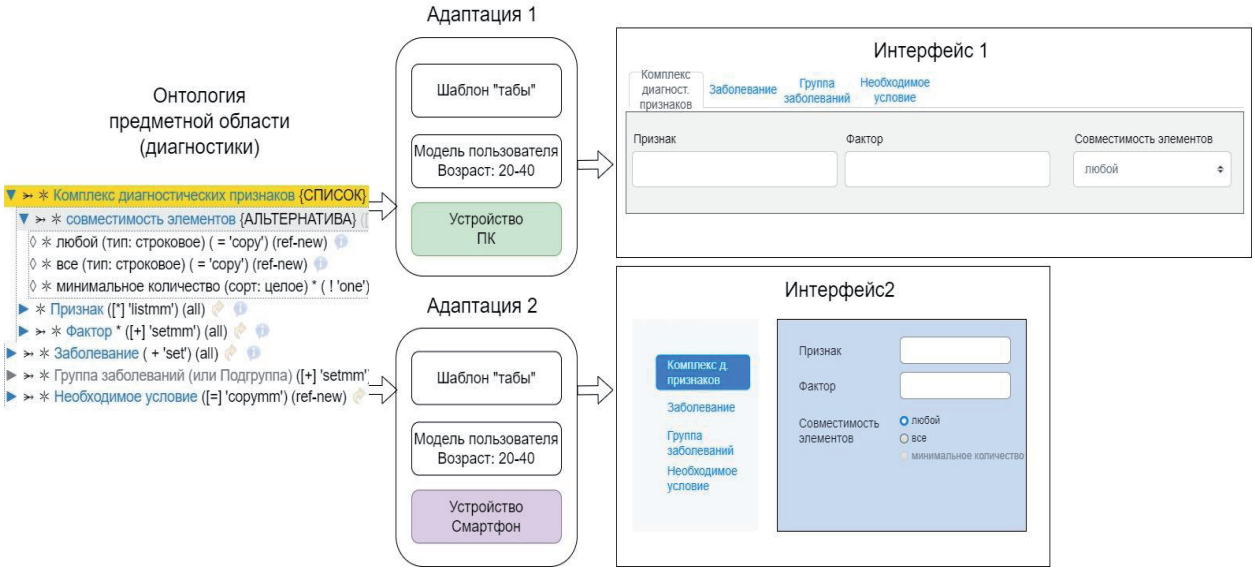


Рисунок 11 – Пример генерации адаптивного интерфейса

Заключение

Разработка интерфейсов редакторов БЗ является актуальной задачей в инженерии знаний. Это вытекает из требований современного этапа к разработке систем на основе знаний: БЗ должны разрабатывать и сопровождать эксперты ПрО. Учитывая разный уровень знаний экспертов в области информационных технологий, удобные и понятные редакторы знаний являются определяющим фактором включения экспертов в процесс разработки БЗ. Для автоматической генерации интерфейса редакторов БЗ используется онтологический подход, включающий разработку БЗ о проектировании *WIMP*-интерфейса, библиотеки *WIMP*-элементов, модели интерфейса. Разработанный генератор интерфейса автоматически формирует пользовательский интерфейс редактора знаний, ориентированный на конкретного пользователя.

В настоящее время на платформе *IACPaaS* реализованы все информационные и программные компоненты, проводится их опытная эксплуатация.

Список источников

[1] ***Щеглов С.Н.*** Онтологический подход и его использование в системах представления знаний // Известия Южного федерального университета. 2009. №4(93). С.146-153.

[2] ***Подлипский О.К.*** Построение баз знаний группой экспертов // Компьютерные исследования и моделирование 2010. Т.2, №1, С.3-11.

[3] ***Белоусова С.А., Рогозов Ю.И.*** Анализ подходов к созданию пользовательского интерфейса // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 6(155). С.142-148.

[4] ***Корончик Д.Н.*** Пользовательские интерфейсы интеллектуальных систем // Кибернетика и программирование. 2012. № 1. С.16-22. DOI:10.7256/2306-4196.2012.1.13861.

[5] ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 1. Требования. Information technology. Top-level ontologies (TLO). Part 1. Requirements. Дата введения 2022-04-30.

[6] ГОСТ Р 59798-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 2. Базисная формальная онтология (BFO). Information technology. Top-level ontologies (TLO). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Дата введения 2022-04-30.

[7] ***Gauch, S., Chaffee, J., &Pretschner, A.*** Ontology-based personalized search and browsing // Web Intelligence and Agent Systems. 2003. P.219–234.

[8] ***Razmerita, L., Angehrn, A., &Maedche, A.*** Ontology-based user modeling for knowledge management systems. *InUsermodeling*. Berlin, Germany: Springer.2003. P.213–217.

[9] ***Трегубов А.С.*** Разработка адаптивных контекстозависимых интерфейсов с использованием онтологических моделей // Кибернетика и программирование. 2017. № 6. С.50-56. DOI:10.25136/2306-4196.2017.6.24747.

[10] ***McAvoy, L. M., Chen, L., & Donnelly, M.*** An ontology based context management system for smart environments // UBICOMM. 2012, the Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies. P.18–23.

[11] ***Liu B., Chen H., He W.*** Deriving User Interface from Ontologies: A Model-based Approach // 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05), Hong Kong China. 2005. P.254–259.

[12] ***Бубарева О.А., Вайцель Н.С.*** Подход к проектированию пользовательского интерфейса в системах реального времени на базе онтологий // Южно-сибирский научный вестник. 2018. С.82-86.

[13] ***Алфимцев А.Н., Локтев Д.А., Локтев А.А.*** Разработка пользовательского интерфейса комплексной системы видеомониторинга // Информационные системы и логистика в строительстве. 2012. С.242-251.

[14] ***Abdelkrim Chebieb, Yamine Aït-Ameur.*** A formal model for plastic human computer interfaces // Frontiers of Computer Science, Springer Verlag, 2018, 12 (2). P.351-375. DOI:10.1007/s11704-016-5460-3.

[15] ***Грибова В.В., Федорищев Л.А.*** Адаптивный генератор WIMP-интерфейса редакторов базы знаний на основе онтологии // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. №49. С.110-119.

[16] ***Грибова В.В., Федорищев Л.А.*** Онтологический подход к генерации адаптивных WIMP-интерфейсов редакторов баз знаний // В сборнике: Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018. Труды конференции: в 2-х томах. 2018. С.19-26.

[17] ***Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А.*** Двухуровневая модель сложноструктурированных информационных единиц, соответствующая метафоре анкетирования // Научно-техническая информация. Сер. 2. 2015. №10. С.1-10.
[18] ***Мейер Э.А.*** CSS. Каскадные таблицы стилей. Подробное руководство. Пер. с англ. СПб: Символ-Плюс, 2008. 576 с.

Сведения об авторах

Грибова Валерия Викторовна, 1965 г.р. Окончила Ленинградский политехнический институт (1989), д.т.н. (2007), член-корр. РАН (2022). Заместитель директора по научной работе, руководитель лаборатории интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления ДВО РАН, профессор Дальневосточного федерального университета (ДВФУ), Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС). Вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 300 работ.ORCID: 0000-0001-9393-351X; AuthorID (РИНЦ): 7400; AuthorID (Scopus): 7801667631. *gribova@iacp.dvo.ru.*✉.

Паршкова Светлана Владимировна, 1999 г.р. Окончила ВГУЭС (2020). Инженер лаборатории интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления ДВО РАН. *parshkovas@iacp.dvo.ru.*

Федорищев Леонид Александрович, 1987 г.р. Окончил ДВФУ в 2009 г., к.т.н. (2013). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматики и процессов управления ДВО РАН, доцент ВГУЭС. В списке научных трудов более 24 работ.ORCID: 0000-0002-2049-2570; AuthorID (РИНЦ): 877296; AuthorID (Scopus): 55336913500. *fleo1987@mail.ru.*

Поступила в редакцию 30.05.2022, после рецензирования 02.06.2022. Принята к публикации 20.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217

Ontologies for development and generation adaptive user interfaces of knowledge base editors

© 2022, V.V. Gribova[1,2]✉, S.V. Parshkova[1], L.A. Fedorischev[1,2]

[1] *Institute for Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia*

[2] *Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia*

Abstract

The article discusses a method for creating automatically generated adaptive user interfaces of knowledge base editors based on an ontological approach. The main goal that guided the authors is to improve the quality and convenience of creating and editing knowledge bases, taking into account the specifics of the subject area, the characteristics of an expert user and other parameters. The description of the concept of a new approach to generating adaptive interfaces is given. Additionally, a detailed description of all ontologies, knowledge bases and models used in the specified approach to generating interfaces, as key elements of the proposed idea. The presented ontology of knowledge about interface design introduces new abstract elements that define interface tasks without explicitly defining their visual and functional representation, while each abstract element of this ontology has several representation options - adaptations of abstract elements. The ontology of graphical elements of the user interface defines a specific visual and functional representation of abstract elements in the form of ready-made reusable WIMP elements, such as lists, buttons, menus, etc. The presented knowledge base on interface design describes the rules for its formation depending on the structure of the domain ontology, user characteristics, and usability requirements. The presented interface model describes the structure

of the generated adaptive interface in accordance with the user's individual preferences and other additional information. All the ontologies and knowledge bases described in the article are currently implemented on the IACPaaS platform.

Key words: *ontology, knowledge base, interface, adaptive interface, interface generation, templates, WIMP interface, knowledge base editor.*

For citation: *Gribova VV, Parshkova SV, Fedorishchev LA.* Ontologies for developing and generating adaptive user interfaces of knowledge base editors [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 200-217. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.

Financial support: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-07-00670 A).

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - Building an editor with an adaptive WIMP interface
Figure 2 - Screenshot of the "ontological constructions" section on the IACPaaS platform
Figure 3 - Scheme for the implementation of conditions by the abstract element "Choice" in the editor with an adaptive WIMP interface
Figure 4 - Screenshot of the ontology section "Implementation of the interface element" on the IACPaaS platform
Figure 5 - Screenshot of a fragment of the knowledge base on interface design on the IACPaaS platform
Figure 6 - An example of adaptive interface generation
Figure 7 - Screenshot of a fragment of the WIMP ontology of interface generation elements
Figure 8 - Screenshot of CSS Styles Ontology
Figure 9 - Fragment of the interface model ontology
Figure 10 - Fragment of the "User model" ontology
Figure 11 - An example of generating an adaptive interface

References

[1] ***Shcheglov SN.*** Ontological approach and its use in knowledge representation systems [In Russian]. Izvestiya of the Southern Federal University. 2009; 4(93): 146-153.
[2] ***Podlipsky OK.*** Building knowledge bases by a group of experts [In Russian]. Computer Research and Modeling 2010; 2(1): 3-11.
[3] ***Belousova SA, Rogozov YuI.*** Analysis of approaches to creating a user interface [In Russian]. Izvestiya of the Southern Federal University. Technical science. 2014; 6(155): 142-148.
[4] ***Koronchik DN.*** User interfaces of intelligent systems [In Russian]. Cybernetics and programming. 2012; 1: 16-22. DOI:10.7256/2306-4196.2012.1.13861.
[5] GOST R ISO/IEC 21838-1-2021. National standard of the Russian Federation. Information Technology. Top-level ontologies (TLO) [In Russian]. Part 1. Requirements. Information technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Requirements. Effective date 2022-04-30.
[6] GOST R 59798-2021. National standard of the Russian Federation. Information Technology. Top-level ontologies (TLO) [In Russian]. Part 2. Basic formal ontology (BFO). Information technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Effective date 2022-04-30.
[7] ***Gauch S, Chaffee J, Pretschner A.*** Ontology-based personalized search and browsing. Web Intelligence and Agent Systems. 2003. P.219–234.
[8] ***Razmerita L, Angehrn A, Maedche A.*** Ontology-based user modeling for knowledge management systems. In User modeling. Berlin, Germany: Springer.2003. P.213–217.
[9] ***Tregubov AS.*** Development of adaptive context-dependent interfaces using ontological models [In Russian]. Cybernetics and Programming. 2017; 6: 50-56. DOI:10.25136/2306-4196.2017.6.24747.
[10] ***McAvoy LM, Chen L, Donnelly M.*** An ontology-based context management system for smart environments. UBICOMM. 2012, the Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, p.18–23.
[11] ***Liu B, Chen H, He W.*** Deriving User Interface from Ontologies: A Model-based Approach. 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05), Hong Kong China. 2005. P.254–259.
[12] ***Bubareva OA, Vaytsel NS.*** Ontology-Based Approach to User Interface Design in Real Time Systems [In Russian]. South Siberian Scientific Bulletin. 2018. P.82-86.

[13] ***Alfimtsev AN, Loktev DA, Loktev AA.*** Development of a user interface for a complex video monitoring system [In Russian]. Information systems and logistics in construction. 2012. P.242-251.
[14] ***Abdelkrim Chebieb, Yamine Ait-Ameur.*** A formal model for plastic human computer interfaces. *Frontiers of Computer Science*, Springer Verlag, 2018; 12(2): 351-375. DOI:10.1007/s11704-016-5460-3.
[15] ***Gribova VV, Fedorishchev LA.*** Adaptive generator of WIMP-interface for knowledge base editors based on ontology [In Russian]. Tomsk State University Bulletin. Management, computer technology and informatics. 2019; 49: 110-119.
[16] ***Gribova VV, Fedorishchev LA.*** Ontological approach to generating adaptive WIMP interfaces for knowledge base editors [In Russian]. In the collection: Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2018 Proceedings of the conference: in 2 volumes. 2018. P.19-26.
[17] ***Gribova VV, Kleshchev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA.*** A two-level model of complexly structured information units, corresponding to the metaphor of questioning [In Russian]. Scientific and technical information. Ser. 2. 2015; 10: 1-10.
[18] ***Meyer EA.*** CSS. Cascading Style Sheets. Detailed Guide [In Russian]. Plus Symbol. 2008.

About the authors

Valeria Viktorovna Gribova (b. 1965) graduated from the Leningrad Polytechnic Institute in 1989, D.Sc. Tech. (2007). Professor of FEFU, VSUES. Vice President of the Russian Association of Artificial Intelligence. Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences named after Academician A.M. Prokhorova (2016). Member of ITHEA. Expert of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation, expert of the Russian Foundation for Basic Research, Russian Humanitarian Foundation, Russian Science Foundation, Federal State Budget Scientific Institution Research Institute RINKCE. The list of scientific works includes more than 280 works. ORCID: 0000-0001-9393-351X; Author ID (RSCI): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631. *gribova@iacp.dvo.ru* ✉.

Svetlana Vladimirovna Parshkova (b. 1999) graduated from VSUES in 2020. Engineer of the Laboratory of Intelligent Systems at the Institute of Automation and Control ProcessesFEB RAS. *parshkovas@iacp.dvo.ru*.

Leonid Alexandrovich Fedorishchev (b. 1987) graduated from FENU in 2009, Ph.D. (2013). Senior Researcher, Laboratory of Intelligent Systems at the Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, associate professor of VSUES. There are more than 24 works in the list of scientific papers. ORCID: 0000-0002-2049-2570; Author ID (RSCI): 877296; Author ID (Scopus): 55336913500. *fleo1987@mail.ru*.

Received May 30, 2022.Revised June 2, 2022, Accepted June, 20, 2022.

УДК 37:004.946: 519.17 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-218-230

Сетевая концепция метадисциплинарной платформы конструирования множественных реальных и виртуальных миров

© 2022, О.Г. Берестнева[1]✉, И.А. Лызин[1], А.А. Тихомиров[2], М.В. Корняков [3], Г. Джафари[3], С.В. Дуга[3], Э.К. Куулар[3], А.И. Труфанов[3], Л.А. Петрова[4]

[1]*Томский политехнический университет, Томск, Россия*
[2]*Университет Инха, Инчеон, Республика Корея*
[3]*Иркутский национальный исследовательский технический университет Иркутск, Россия*
[4]*Государственный гуманитарно-технологический университет, Орехово-Зуево, Московская область, Россия*

Аннотация

В последние годы становится актуальной проблема освоения дополненной и виртуальной реальностей в широком спектре человеческой деятельности. В работе выполнен анализ необходимости, требований и возможностей метадисциплинарного конструирования в обобщённом пространстве, сопрягающем реальное и виртуальное для нужд образовательной сферы. Сложность совмещения миров, объёмность данных, учёт динамики рассматриваются как проблемы, доступные для расчётного решения и практической реализации на базе сетевой платформы. В рамках предлагаемой концепции предусмотрен вход в сетевое подпространство, содержащее сетевые отпечатки обобщённого реально-виртуального мира, согласование в нём множественных компонентов и возвращение в единый образ смешанного мира, воспринимаемый через разработанное приложение. Сетевая платформа включает как сетевые элементы онтологии, так и представление, хранение и обработку данных с использованием графовых нереляционных баз данных и инструментов анализа и визуализации сетей. Архитектура с сетевым компонентом обработки данных даёт возможность продвинуться в направлении совершенствования платформы – конструктора множественных реальных и виртуальных миров. Особый акцент на сетевую парадигму обусловлен практической ценностью «сетевой» смешанной реальности (особенно в образовательной сфере) и заключается в том, что информация представлена в хорошо структурированной форме. Можно ожидать, что инструменты, способные выполнять такое структурирование не только технологически (что необходимо для распознавания, трекинга и визуализации), но и на пользовательском уровне, явятся удачным способом поддержки образовательного пространства.

Ключевые слова: *континуум реальность-виртуальность, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, образовательное пространство, сетевая платформа, распознавание, трекинг, визуализация.*

Цитирование: *Берестнева О.Г., Лызин И.А., Тихомиров А.А., Корняков М.В., Джафари Г., Дуга С.В., Куулар Э.К., Труфанов А.И., Петрова Л.А.* Сетевая концепция метадисциплинарной платформы конструирования множественных реальных и виртуальных миров // *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2(44). С.218-230. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-218-230.

Финансирование: Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научных проектов № 19-37-90005 и № 20-57-44002.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Специалисты, отвечая на современные вызовы в сфере образования, свидетельствуют о наступлении его новой эры, которая, вовлекая достижения в области информационных технологий, создаёт большие возможности для передачи и получения знаний [1-3]. В последние годы зарубежные [4] и отечественные [5] специалисты активно обсуждают необходимость и важность освоения дополненной (*Augmented reality, AR*) и виртуальной реальности (*Virtual*

reality, VR) в научной и образовательной сферах. Можно ожидать, что для метадисциплинарных («надпредметных») задач, в т.ч. и образовательного характера, эффективным явится обобщение, совмещающее множественные реальные и виртуальные миры, технология которого носит название смешанной реальности (*Mixed reality, MR*). Метадисциплинарность подразумевает здесь интеграцию и целостность понимания и задач, и методов их решения, и результатов, выходящих за рамки традиционных ограничений, накладываемых отдельными областями знаний [6]. Для широкого внедрения технологии *MR* в образовательный процесс преподавателям необходимы простые и эффективные инструменты конструирования дополненных и виртуальных миров, совмещения их с миром реальным, инструменты, по пользовательским качествам подобные редакторам слайдовых презентаций или систем управления содержанием (*Content Management System, CMS*). Для создания удобных и легко осваиваемых *MR*-конструкторов, объединяющих и настраивающих значительные объёмы данных из разноплановых хранилищ, требуется качественно новая методологическая платформа, позволяющая приблизиться к достижению поставленной цели.

1 Анализ понятий

Глубокая концептуализация дополненной, виртуальной и смешанной реальностей, сопутствующие терминология и таксономия были заложены в классической работе [7]. *MR* называют любую среду, содержащую смесь реальных и виртуальных элементов. *AR* определяют как такую среду *MR*, в которой реальный мир дополнен некоторым набором виртуальных элементов. Если же большая часть элементов *MR* является виртуальной, и присутствует некоторая малая доля элементов реального мира, такую среду трактуют как дополненную виртуальность (*Augmented virtuality, AV*).

Специалисты по-разному трактуют многие термины, рассматривая понятие континуума «реальность-виртуальность» (*reality-virtuality, RV*), в котором размещены и физические, и цифровые сущности, различным образом взаимодействующие межу собой и воспринимаемые человеком неразрывно и в пространстве, и во времени. Виртуальный мир в формате мультисенсорных виртуальных сред воздействует на все чувства человека, обеспечивающие восприятие окружающего мира через зрение, слух, вкус, обоняние и осязания. Заявленные в [8] среды, отличаясь от *AR* и *VR,* позволяют одновременно естественным образом стимулировать все пять чувств. Если реальный мир человек фиксирует сам, то *VR* полностью «отсекает» его видение картины мира от реального, обеспечивая нарисованным, спроектированным или преобразованным в цифровом устройстве реальным изображением.

AR, накладывая изображение виртуального мира на мир существующий, оставляет эти миры сугубо разделёнными. Как правило, эксперты, определяя понятия *AR* и *AV*, полагали, что включение инородных объектов не предусматривало взаимодействия отдельных составляющих *RV* миров [9].

Задача *MR* — в максимальной степени «бесшовно» объединить объекты двух миров — реального и виртуального, обеспечивая взаимодействие этих объектов, устанавливая их связи в соответствии с законами природы.

Метавселенная, как концептуальная среда, вмещает в себя подобное объединение как объектов, так и различных миров человеческой деятельности [10], не пренебрегая такими опасными, как информационное противостояние и информационная безопасность [11], что заставляет задуматься о предупреждении несанкционированных вторжений как в реальном, так и в виртуальном пространстве. В целом, современное представление о метавселенной включает платформы *VR*, совместимые с массовыми многопользовательскими онлайн-

инструментами, открытыми мирами и пространствами для совместной работы с дополненной реальностью [12].

Пересматривая идеи [7], авторы [13], расширяя и уточняя определения понятий, указывают, что континуум *RV* прерывист, так что абсолютная *VR* не может быть достигнута. В том числе из-за того, что внешние виртуальные среды не в состоянии воздействовать на интероцептивные чувства, например, вестибулярные. Истинная *VR* реализуется только тогда, когда все чувства — экстероцептивные и интероцептивные — полностью воспроизводимы в цифровом мире. По [13] *MR* — это среда, в которой элементы-объекты и раздражители реального и виртуального миров представлены и воспринимаются наблюдателем совместно и одновременно. При этом важно, что согласованность смешанного мира нацелена на пользователей и учитывает их роль и опыт, что является ключевым для оценки *MR*. Реальный мир, включающий жизненную реальность (*in vivo*) и реальность лабораторную (*in vitro*) находится у одного полюса пространства континуум *RV*. У противоположного полюса – *VR*, приближённая и строгая (в значительной степени отсекающая реальный мир). В образовании это пространство, зарождаясь на границе с наблюдением реальных социально-экономических, технологических и природных явлений, заполнялось ещё в докомпьютерную эпоху разного рода моделями (физическими и математическими), текстами, рисунками, печатными и выполненными вручную преподавателем, в том числе мелом на аудиторной доске.

Несмотря на то, что многие определения *MR* были источником путаницы, современная *MR* направлена на приемлемую степень когерентности в объединении физического (реального) и цифрового (виртуального) миров [14], поддерживаемом процессами взаимодействия человека с вычислительными устройствами и окружающей средой (см. рисунок 1).

Рисунок 1 - Спектр смешанной реальности

MR может быть задействована, начиная с этапа приёмной кампании, проводимой ВУЗами. В условиях повсеместного применения *MR* абитуриенту будут полезны даже части этих средств в *AR/VR*, которые дадут более отчётливое представление о направлениях подготовки и перспективе на рынке труда [15]. Студенты могут быть сориентированы интерактивными моделями как при выборе мест практики, так и для адаптации в послевузовской профессиональной деятельности. Важно, что «бесшовным» ожидается дальнейшее включение выпускника в трудовую деятельность. Здесь просматривается психологическая поддержка непрерывности траектории от школьной скамьи во взрослую жизнь [16]. Многое зависит от технологической составляющей при освоении *MR* в образовательном пространстве, в т.ч. от простоты освоения, эффективности и доступности инструментария. *MR*-конструктор — инструмент, который предоставляет средства пользователям для подготовки продуктов *AR, VR* и *MR* без специального программирования. Из-за сложности *VR*-технологий это могут делать только профессиональные разработчики. В [17] отмечается, что подобные технологии — не

для масштабного проникновения, поскольку непрофессиональному пользователю продукта недоступно управление контентом без помощи разработчика, а разработки затратны по времени и стоимости.

Требования образовательной сферы в лице преподавателей и системных интеграторов ВУЗовской информационной среды обусловлены необходимостью своевременной практической реализации качественного контента, сокращения сроков освоения продуктов *MR/AR/VR* и снижения расходов на освоение и владение ими. Конечным пользователям нужен *MR*-конструктор для подготовки продуктов-приложений, который не требует использования труда высокооплачиваемых программистов, развёртывания крупномасштабных проектных работ, а позволяет быстро и эффективно собрать прототип пилотного решения и убедиться в его работоспособности. При успешном испытании прототипа можно доводить его функционал до необходимого, развивая по мере необходимости.

Сделать современные средства разработки *MR/AR/VR* доступными для практического использования специалистам образовательной сферы – актуальная задача. Для обобщения *MR/AR/VR*-технологий используется понятие расширенной реальности (*extended reality, XR*) [18]. Авторы [19] критикуют экспертов в непоследовательности использования многих вышеприведённых терминов. Например, отмечая множественную концептуальную путаницу и расплывчатое разграничение, они предлагают применять нотацию *xR*, но не для расширенной реальности, а подразумевая под *x* неизвестную переменную (*xReality*), что остаётся на сегодняшний день спорным.

В бизнес-сфере целевая аудитория подразделяется на две категории: разработчиков и заказчиков (владельцев) [20]. В образовательной сфере целесообразно, чтобы информацией в рамках данной технологии оперировал её владелец, а не разработчик *XR* продукта. Оптимальный вариант использования продукта наблюдается в случае, когда владелец и разработчик заключены в одном лице. Большинство инструментальных наборов, позволяющих разрабатывать приложения для *MR*, например, *Mixed Reality Toolkit* для *Unreal* (*MRTK-Unreal*) [21] предполагает знание профессиональных понятий, специальных платформ и новейших периферийных устройств.

SDK (*Software Developer Kit*) — набор из программ и приложений, которые могут создавать дополнительное программное обеспечение *XR*, популярные инструменты в сообществе зарубежных разработчиков *AR*: *Vuforia, Wikitude*, а также *ARKit, ARCore, ARToolKit* [22]. Среди предлагаемых зарубежных конструкторов *AR* и *VR* можно выделить *AVR Platform* [23]. Отечественные решения, отвечающие высокому уровню развития технологий *XR*, это: *iVariant Varwin, EV Toolbox* и *UniVRsity* [24].

Эксперты отмечают причины, подчеркивающие важность и необходимость разработки эффективных и практичных *XR*-конструкторов для образовательной сферы [25]:

- недостаточность основных инструментов континуума *RV*, доступных на рынке, полезных при подготовке привлекательного образовательного контента, которые можно использовать лишь как некоторое дополнение;
- сложность освоения преподавателями, что приводит к невозможности самостоятельного создания иммерсивных приложений;
- необходимость адаптации содержания к целевой аудитории.

2 Обзор методов

Сектор образования проявляет значительный интерес к теме метавселенной, которая интенсивно развивается с использованием технологий *XR* [26]. Объединение объектов физиче-

ского и цифрового миров предполагает анализ их взаимодействия и конструирование связей, тем самым закладывая сетевую основу построения решения.

Проблема развития платформы при создании *MR*-конструктора для самостоятельной разработки приложений состоит во внутренней сложности и объёмности продукта. Основные технологические задачи построения *AR* и *VR* сводятся к процессам распознавания, трекинга и визуализации.

В настоящей работе для объединения миров выбрана «безмаркерная» технология трекинга. При этом в основу и распознавания, и трекинга, и визуализации положено использование онтологии пространственно-временных рядов с помощь комплексных сетей. Предложены высокоэффективные подходы, методы и инструменты науки о сетях для анализа разноплановых объёмных данных, которые являются высокоэффективными средствами явного описания концептуализации знаний [27]. Так, для сетевой платформы характерно раскодирование скрывающихся в данных сведений, извлечь которые иным путём оказывается недоступно или трудоёмко. Сетевой же анализ с его моделями и алгоритмами продемонстрировал свой высокий потенциал на практике в различных областях знаний – медицине [28], безопасности [29], материаловедении [30].

Работы по конвертированию различного рода данных в сетевые структуры представлены в [31-34], в т.ч. авторские [35, 36]. В работе [37] модель комплексной сети применяется для распознавания движения человека по данным о положении суставов его тела в 3D пространстве. При этом концепция метапути в такой сетевой модели даёт возможность устранить многие неопределённости в описании структуры движений, повышая эффективность решения задач распознавания.

Таким образом, в построении *XR*-конструктора заложена сетевая парадигма анализа и согласования данных, обеспечивающая в значительной мере бесшовное согласование данных реальных и виртуальных миров.

3 Концепция архитектуры XR-конструктора

Предлагается концепция архитектуры конструктора разработки *XR*-приложений, программным образом визуально совмещающих множество изначально независимых пространств: миров наблюдаемых или наблюдавшихся реальных объектов и процессов и миров виртуальных (синтетических) (рисунок 2). Важно, что загруженные в сетевое пространство данные о процессах и объектах становятся удобными и эффективными для сравнения и анализа. Все процессы обработки сводятся к высокопроизводительным операциям на ограниченном наборе сетевых отпечатков с этих данных (сетевых метрик). Современные нереляционные базы данных (как хранилища образов) дают возможность организовать продуктивную работу с графовыми ресурсами. После выполнения ключевых процедур (затратных в традиционных схемах) производится объединительная визуализация с возвращением в пространство обычное.

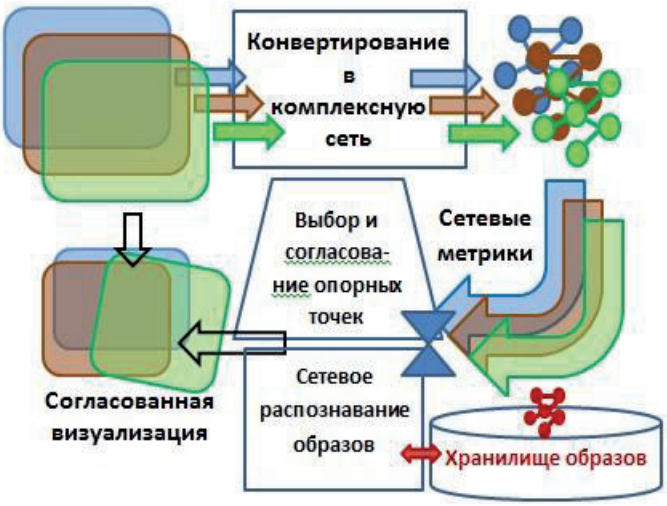


Рисунок 2 – Концепция архитектуры платформы

Выбор новых форматов взаимодействия между участниками образовательного процесса требует дополнительных эффективных инструментов реализации этого взаимодействия [38].

В трудах лидирующей в России Самарской школы онтологии проектирования неоднократно отмечалась значимость предварительных процедур инжиниринга с необходимой формализацией предметной области (ПрО) и проектных процессов и последующим построением адекватных моделей (см., например [39]). Характерно, что такой подход позволяет не только предвидеть образ проектируемой системы, функционирующей в складывающихся условиях, но и изначально наметить и далее отслеживать множественные связи акторов в системе и окружающей среде [40].

Наблюдая всё более тесное взаимодействие между цифровым миром, людьми и предприятиями, эксперты отмечают, что элементы континуума *RV*, совместно развиваясь, образуют единую экосистему [41]. Использование методов науки о сетях даёт возможность оценить не только структурные, но и динамические характеристики сложных цифровых экосистем.

Исследователями (см., например [42]) ставится вопрос о новом определении понятия метавселенной в контексте интеграции её составляющих: технологической части, различных ПрО и социальной деятельности. Внимание к сетевым подходам, как в отдельным компонентам, так и в целом для метавселенной, будет постоянно нарастать.

Предлагаемая архитектура с сетевым компонентом обработки данных (сетевизацией) даёт возможность продвинуться в направлении совершенствования платформы – конструктора множественных реальных и виртуальных миров. Особый акцент на сетевую парадигму обусловлен так же тем, что практическая ценность сетевой *XR* (и особенно в образовательной сфере) заключается в том, что информация представлена в хорошо структурированной форме. Можно ожидать, что конструктор, способный такое структурирование выполнять не только технологически (что необходимо для распознавания, трекинга и визуализации), но и на пользовательском уровне, станет инструментом поддержки образовательного пространства. При извлечении сложных взаимодействий в процессе познания и согласования элементов *RV*–среды полезными представляются новые подходы восстановления топологии комплексных сетей различного масштаба [43].

Метадисциплинарный мир континуума *RV* может быть представлен разнородными и многомерными сетями, охватывающими множественные типы сущностей и отношений. Сети могут включать субъектов, объекты жилых, учебных, производственных помещений, здания и сооружения, объекты инфраструктуры, ландшафта, иные природные объекты, связанные такими отношениями как расположение в пространстве, траектории движения и др. Здесь оказывается необходимым метод эффективного и гибкого сбора, хранения и извлечения информации о расположении и динамике развития из комплексных сетей с использованием графовой базы данных. Эффективным решением представляется структурирование базы данных, основанное на онтологии, которая фиксирует допустимые типы сущностей и отношений. Подобные сети создают связующую информацию между элементами миров и играют центральную роль в концепции бесшовного их сопряжения.

Подход, основанный на онтологии, позволяет ставить общие и конкретные вопросы о сетях в рамках одной и той же структуры [44]. Этот подход можно применять к разного рода сообществам или многомерным сетям для сбора, анализа, прогноза и визуализации различных типов взаимодействий и отслеживания их динамики.

Разработка *XR*-конструктора предполагает совместную работу специалистов в различных ПрО. Наука о сетях, являясь междисциплинарным языком, способствует такому сложному процессу как совместная разработка онтологий [45]. Метадисциплинарная платформа даёт возможность участникам разработки согласовать свои требования и приоритеты при создании концептуальной модели, отражающей как отдельные, так и общие интересы.

Выводы

В работе предпринята попытка устранения путаницы в понятиях и таксономии среды *RV*, необходимая для выработки метадисциплинарной платформы, сопрягающей реальное и виртуальное пространства для нужд образовательной сферы,

Обоснована сетевая парадигма развития *XR*, объединяющая объекты мира физического с объектами цифрового мира в значительной степени беспрепятственно (бесшовно) через анализ их взаимодействия и конструирование связей.

Предложена концепция сетевой платформы *XR*-конструктора, включающая как общую онтологию, так и архитектуру с его сетевыми механизмами распознавания, трекинга и визуализации.

Список источников

[1] ***Деброк Л.*** Новая эра очного образования: масштабируемая система интерактивного взаимодействия. Вопросы образования / Educational Studies Moscow. 2018. № 4. С.44-59. DOI: 10.17323/1814-9545-2018-4-44-59 https://vo.hse.ru/data/2018/12/12/1144863279/03%20DeBrock.pdf .

[2] ***Родионова М.Ю.*** Новая эра в образовании: дистанционное и бесконтактное или отдаленное и отстраненное? // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2021. №2(155). С.76-80.

[3] ***Allen J., White S.*** (Eds.). Learning to Teach in a New Era. Cambridge: Cambridge University Press. 2017. DOI:10.1017/9781316822647.

[4] ***Turhan B., Gümüş Z.H.*** A Brave New World: Virtual Reality and Augmented Reality in Systems Biology. Front. Bioinform. 2022. 2:873478. DOI: 10.3389/fbinf.2022.873478.

[5] ***Савельева К.В.*** Дополненная реальность: культурный и образовательный феномен // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. 2018. Том 7. № 1А. С.227-233.

[6] ***Dalai G., Martini B., Perondi L., Tombolato M.*** Beyond the discipline: A metadisciplinary approach for the didactics of communication design. Inmaterial. Diseño, Arte y Sociedad. 3, 6 (dic. 2018), 021–051. DOI:10.46516/inmaterial.v3.50.

[7] ***Milgram P., Kishino F.*** A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Trans. Inform. Syst. 1994. 77, 1321–1329.

[8] ***Chalmers A., Howard D., Moir C***. ACM Press the 2009 Spring Conference - Budmerice, Slovakia (2009.04.23-2009.04.25). Proceedings of the 2009 Spring Conference on Computer Graphics - SCCG '09 - Real virtuality. 9–16. DOI:10.1145/1980462.1980466.

[9] ***Schnabel M.A.*** Framing Mixed Realities. In: Wang, X., Schnabel, M.A. (eds) Mixed Reality In Architecture, Design And Construction. Springer, Dordrecht. (2009). 3-11. DOI:10.1007/978-1-4020-9088-2.

[10] ***Moro Visconti R.*** From physical reality to the Metaverse: a Multilayer Network Valuation. Journal of Metaverse , (2022). 2 (1) , 16-22 . https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2247581.

[11] ***Di Pietro R., Raponi S., Caprolu M., Cresci S.*** New Dimensions of Information Warfare. Advances in Information Security. (2021). 262 p. DOI:10.1007/978-3-030-60618-3 10.1007/978-3-030-60618-3.

[12] ***Mystakidis S.*** Metaverse. Encyclopedia 2022, 2, 486–497. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031.

[13] ***Skarbez R., Smith M., Whitton M.C.*** Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. Front. Virtual Real. 2021; 2:647997. DOI: 10.3389/frvir.2021.647997.

[14] ***Collins J., Regenbrecht H., & Langlotz T.*** Visual Coherence in Mixed Reality: A Systematic Enquiry. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2017. 26(1), 16–41. DOI:10.1162/pres_a_00284.

[15] ***Набокова Л.С., Загидуллина Ф.Р.*** Перспективы внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в сферу образовательного процесса высшей школы // Профессиональное образование в современном мире. Т. 9, № 2. 2019. С.2710–2719.

[16] ***Jumani A.K., Siddique W.A., Laghari A.A., Abro A., Ayub Khan A.*** Virtual Reality and Augmented Reality for Education. In: Tiwari,R., Duhan,N., Mittal,M., Anand,A., Attique Khan, M.(eds) Multimedia Computing Systems and Virtual Reality . Chapter 9. Taylor & Francis. 2022. 189-210. DOI:10.1201/9781003196686-9.

[17] ***Сабитов О.*** Стартап Varwin запустил бесплатный конструктор VR-приложений для бизнеса. 10 июня 2019. Хайтек. https://hightech.fm/2019/06/10/varwin.

[18] ***Taylor S., Soneji S***. Bioinformatics and the Metaverse: Are We Ready?. Front. Bioinform. 2022. 2:863676. DOI:10.3389/fbinf.2022.863676.

[19] ***Rauschnabel P.A., Felix R., Hinsch C., Shahab H., Alt F.*** What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality, Computers in Human Behavior, Volume 133, 2022, 107289, ISSN 0747-5632, DOI:10.1016/j.chb.2022.107289.

[20] ***Ярославский Е.*** Конструктор дополненной реальности ARTAR. 2021. https://vc.ru/tribuna/221559-konstruktor-dopolnennoy-realnosti-artar.

[21] Знакомство с MRTK для Unreal. 2022. https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/mixed-reality/develop/unreal/unreal-mrtk-introduction.

[22] 5 Top Tools for VR and AR Development. Enterprise Engineering Solutions. https://www.eescorporation.com/tools-for-vr-and-ar-development/.

[23] The AVR Platform Simplifies AR and VR Content Creation for Academic Institutions and Enterprises. https://eonreality.com/the-avr-platform-simplifies-augmented-and-virtual-reality-content-creation-for-academic-institutions-and-enterprises/.

[24] Виртуальная и дополненная реальность принесут российской экономике 340 млрд рублей. https://www.cnews.ru/articles/2019-12- 15_virtualnaya_i_dopolnennaya_realnost.

[25] Augmented and Virtual Reality in Education. The App Solutions. https://theappsolutions.com/blog/development/ar-vr-in-education/.

[26] ***Damar M.*** Metaverse Shape of Your Life for Future: A bibliometric snapshot. Journal of Metaverse, (2021). 1(1), 1-8. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2112/2112.12068.pdf.

[27] ***Mata A.S.D.*** Complex Networks: a Mini-review. Braz J Phys 50, 658–672 (2020). https://doi.org/10.1007/s13538-020-00772-9.

[28] ***Berestneva O., Lyzin I., Yumasheva A., Marukhina O., Trufanov A.*** The use of computer visualization in the analysis of breathing curves. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. January 2021. 1019. 012007. DOI:10.1088/1757-899X/1019/1/012007.

[29] ***Дуга С.В., Себякин А.Г., Труфанов А.И., Носырева Л.Л.*** Концепция системы поддержки принятия решения в предварительном следствии. Безопасность информационных технологий. Том 26, № 3 (2019). С.45-57. DOI:10.26583/bit.2019.3.04. https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1216/1153.

[30] ***Semenov M., Lelushkina K.*** Study of the Materials Microstructure using Topological Properties of Complex Networks 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 135 012040. DOI:10.1088/1757-899X/135/1/012040.

[31] ***Silva V.F., Silva M.E., Ribeiro P., Silva F.*** Time series analysis via network science: Concepts and algorithms. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 2021. 11(3). DOI:10.1002/widm.1404.

[32] ***Mourchid Y., El Hassouni M., Cherifi H.*** A general framework for complex network-based image segmentation. Multimedia Tools and Applications, 2019. 78(14), 20191–20216. DOI:10.1007/s11042-019-7304-2.

[33] ***De Lima G.V.L., Castilho T.R., Bugatti P.H., Saito P.T.M., Lopes F.M.*** A Complex Network-Based Approach to the Analysis and Classification of Images. Lecture Notes in Computer Science, (2015). 322–330. DOI:10.1007/978-3-319-25751-8_39 .

[34] ***Berceanu, C.; Pătrașcu, M.*** Engineering Emergence: A Survey on Control in the World of Complex Networks. Automation 2022, 3, 176-196. DOI:10.3390/automation3010009.

[35] ***Berestneva O., Marukhina O., Rossodivita A., Tikhomirov A., Trufanov A.*** Networkalization of Network–Unlike Entities: How to Preserve Encoded Information // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. 2019. 143–151.

[36] ***Trufanov A., Kinash N., Tikhomirov A., Berestneva O., Rossodivita A.*** Image Converting into Complex Networks: Scale- Level Segmentation Approach // Proc. IV Int.Conf. "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine"(ITSMSSM 2017) / Series: Advances in Computer Science Research (ACSR). Atlantis Press. Volume 72 .2017. P. 417-422.

[37] ***Barkoky A., Charkari N.M***. Complex Network-based features extraction in RGB-D human action recognition. Journal of Visual Communication and Image Representation. Volume 82, January 2022, 103371.

[38] ***Winkler R., Hobert S., Salovaara A., Söllner M., Leimeister J.M.*** Sara, the Lecturer: Improving Learning in Online Education with a Scaffolding-Based Conversational Agent. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. DOI:10.1145/3313831.3376781

[39] ***Боргест Н.М., Власов С.А., Громов Ал.А., Громов Ан.А., Коровин М.Д. Шустова Д.В.*** Робот-проектант: на пути к реальности // Онтология проектирования. 2015. Т.5, № 4(18). С.429-449.

[40] ***Боргест Н.М.*** Распознавание образов при создании артефактов как метафора и как прикладные технологии онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2015. Т.5, №1(15). С.19-29.

[41] ***Baggio R.*** Digital Ecosystems, Complexity, and Tourism Networks. In: Xiang Z., Fuchs M., Gretzel U., Höpken W. (eds) Handbook of e-Tourism. Springer, Cham. 2020. DOI:10.1007/978-3-030-05324-6_91-1.

[42] ***Park S.M., Kim Y.G.A.*** “Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges”, IEEE ACCESS, 2022. Vol.10, p.4209–4251.

[43] ***Wang S., Herzog E.D., Kiss I.Z., Schwartz W.J., Bloch G., Sebek M., Granados-Fuentes D., Wang L., Li J.-S.*** Inferring dynamic topology for decoding spatiotemporal structures in complex heterogeneous networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018. 201721286. DOI:10.1073/pnas.1721286115.

[44] ***Ambrosiano J., Sims B., Bartlow A.W., Rosenberger W., Ressler M., Fair J.M.*** Ontology-Based Graphs of Research Communities: A Tool for Understanding Threat Reduction Networks. Frontiers in Research Metrics and Analytics, 2020. 5. DOI:10.3389/frma.2020.00003.

[45] ***Simperl E., Luczak-Rösch M.*** Collaborative ontology engineering: a survey. The Knowledge Engineering Review, (2013). 29(01), 101–131. DOI:10.1017/s0269888913000192.

Сведения об авторах

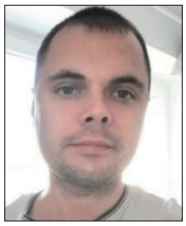
Берестнева Ольга Григорьевна. 1955 г.р. Окончила Томский политехнический институт (ТПУ) по специальности "Прикладная математика" (1976), д.т.н. (2008). Профессор отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники (ИШИТР) ТПУ. С 2009 г. является экспертом РФФИ по направлению 07 (Информационные технологии и вычислительные системы). В списке научных трудов более 200 работ в области исследования и разработки информационных технологий в сфере образования и здравоохранения. Author ID (РИНЦ): 112998; Author ID (Scopus): 10043013900; Researcher ID (WoS): R-7316-2016. *ogb6@yandex.ru* ✉.

Лызин Иван Александрович, 1993 г. рождения. Окончил ТПУ (2018). Аспирант отделения информационных технологий ИШИТР ТПУ. Является соавтором более 30 работ. Author ID (Scopus): 57218651308; ORCID: 0000-0003-2827-441X. *Lyzin@tpu.ru*✉.

Тихомиров Алексей Анатольевич, 1951 г.р. Окончил Московский государственный университет им. Ломоносова (1973), д.э.н. (1981). Профессор Центра сотрудничества со странами СНГ университета Инха, Республика Корея. Вице-президент Международной академии информатизации. В списке научных трудов около 100 работ в области экономики и науки о сетях. ORCID: 0000-0002-7317-5851. *alexeitikhomirovprof@gmail.com*

Корняков Михаил Викторович ,1974 г.р. Окончил Иркутский государственный технический университет (1997), д.т.н. (2008). Ректор Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ). Является соавтором около 100 работ в области горных технологий, экономики и образования. Author ID (РИНЦ): 351500. *kornikov@istu.edu.*

Джафари Голамреза, 1970 г.р. Окончил Технологический университет им. Шарифа (Тегеран, Иран) в 2001 г., доктор философии (2006). Профессор Института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. В списке научных трудов более 120 публикаций в области физики сложных систем и ее приложений в социальных и когнитивных науках. ORCID: 0000-0003-4308-207X; Author ID (WoS): D-8181-2011; Author ID (Scopus): 8558289900. *gjafari@gmail.com.*

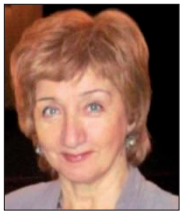


Дуга Сергей Владимирович, 1985 г.р. Окончил Иркутский государственный университет (2008). Аспирант Института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. Старший эксперт отдела компьютерно-технических исследований Судебно-экспертного центра Следственного комитета Российской Федерации. В списке научных трудов 6 работ. ORCID:0000-0002-5894-9855. *siber@list.ru.*

Куулар Эдита Канкиевна, 1991 г.р. Окончила ИРНИТУ (2015), инженер по специальности Информационные системы и технологии. Ассистент Института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. В списке научных трудов 9 работ по сетевому анализу аудио данных. Author ID (РИНЦ): 362877 *kuular1991@mail.ru.*

Труфанов Андрей Иванович, 1950 г. рождения. Окончил Ленинградский политехнический институт им. Калинина (1973), к.ф.-м.н. (1980). Доцент Института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. Член Международной академии информатизации. В списке научных трудов более 200 работ в области радиационной физики, информационной безопасности и науки о сетях. ORCID: 0000-0002-6967-3495; Author ID (РИНЦ): 635311; Author ID (Scopus): 7003762385. *troufan@istu.edu.*

Петрова Людмила Андреевна. 1950 г.р. Окончила Томский государственный педагогический институт в 1972 г., к.п.н. (1995г.). Доцент кафедры педагогики Государственного гуманитарно-технологического университета. Член Международной педагогической академии. В списке научных трудов около 100 работ в области образования. ORCID: 0000-0002-3514-654X; Researcher ID: ABH-4360-2020. *plandr50@mail.ru*.



Поступила в редакцию 03.05.2022, после рецензирования 10.06.2022. Принята к публикации 27.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-218-230

Network concept of a metadisciplinary platform for constructing multiple real and virtual worlds

© 2022, O.G. Berestneva[1]✉, I.A. Lyzin[1], A.A. Tikhomirov[2], M.V. Korniakov[3], G. Jafari[3], S.V. Duga[3], E.K. Kuular[3], A.I. Trufanov[3], L.A. Petrova[4]

[1]*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*
[2]*Inha University, The Republic of Korea*
[3]*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*
[4]*State Humanitarian and Technological University*

Abstract

In recent years, the problem concerning mastering augmented and virtual reality has arisen in a wide range of areas of modern life. The paper analyzes the need, requirements and possibilities of metadisciplinary (i.e. non-disciplinary) construction in a generalized space that combines reality and virtuality in educational sphere. At the same time, complexity of combining the worlds, volume of data, and consideration of dynamics are contemplated as problems available for computational solution and practical implementation on the basis of a network platform. Within the framework of the proposed concept, an entrance to the network sub-space containing network imprints of a generalized real-virtual world, coordination of multiple components in it and return back to a previous image, perceived through the developed application of the mixed world is provided. The network platform includes both the network elements of ontology (general description) and representation, storage and processing of data using graph non-relational databases and tools for analyzing and visualizing networks. An architecture with a network component of data processing (networkalization) makes it possible to move forward in the direction of improving the design platform of multiple real and virtual worlds. Special emphasis on the network paradigm is due to the practical value of the "networked" mixed reality (and especially in the educational field) which lies in the fact that information is presented in a well-structured form. It can be expected that tools capable of performing such structuring not only technologically (which is necessary for recognition, tracking and visualization), but also at user level, will be a good way to support educational space.

Key words: *RV continuum, MR/AR /VR, editor, educational space, network platform, recognition, tracking, visualization.*

Citation: *Berestneva OG, Lyzin IA, Tikhomirov AA, Korniakov MV, Jafari G, Duga SV, Kuular EK, Trufanov AI, Petrova LA.* Network concept of a metadisciplinary platform for constructing multiple real and virtual worlds [In Russian]. *Ontology of designing.* 2022; 12(2): 218-230. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-218-230.

Financial Support: The reported study was partially funded by RFBR and MECSS, project numbers 19-37-90005 and 20-57-44002.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 – Mixed Reality Spectrum
Figure 2 – Platform Architecture Concept

References

[1] ***DeBrock L.*** The New Face-to-Face Education: Scalable Live Engagement [In Russian]. Educational Studies Moscow. 2018. 4: 44-59. DOI: 10.17323/1814-9545-2018-4-44-59. https://vo.hse.ru/data/2018/12/12/1144863279/03%20DeBrock.pdf.

[2] ***Rodionova MYu.*** A new era in education: remote and non-contact or remote and aloof? Proceedings of the Volgograd State Pedagogical University. 2021; 2(155): 76-80.

[3] ***Allen J, White S. (Eds.).*** Learning to Teach in a New Era. Cambridge: Cambridge University Press. 2017. DOI:10.1017/9781316822647.

[4] ***Turhan B, Gümüş ZH.*** A Brave New World: Virtual Reality and Augmented Reality in Systems Biology. *Front. Bioinform.* 2022; 2:873478. DOI: 10.3389/fbinf.2022.873478.

[5] ***Savelyeva KV***. Augmented reality: a cultural and educational phenomenon [In Russian]. Context and reflection: philosophy about the world and man. 2018; 7(1A): 227-233.

[6] ***Dalai G, Martini B, Perondi L, Tombolato M.*** Beyond the discipline : A metadisciplinary approach for the didactics of communication design. INMATERIAL. Diseño, Arte y Sociedad. 3, 6 (dic. 2018), 021–051. DOI:https://doi.org/10.46516/inmaterial.v3.50.

[7] ***Milgram P, Kishino F***. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Trans. Inform. 1994;.77: 1321–1329.

[8] ***Chalmers A, Howard D, Moir C***. ACM Press the 2009 Spring Conference - Budmerice, Slovakia (2009.04.23-2009.04.25). Proceedings of the 2009 Spring Conference on Computer Graphics - SCCG '09 - Real virtuality. 9–16. DOI:10.1145/1980462.1980466.

[9] ***Schnabel MA.*** Framing Mixed Realities. In: Wang, X., Schnabel, M.A. (eds) Mixed Reality In Architecture, Design And Construction. Springer, Dordrecht. (2009). 3-11. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9088-2.

[10] ***Moro Visconti R.*** From physical reality to the Metaverse: a Multilayer Network Valuation. Journal of Metaverse, 2022. 2 (1), 16-22 . https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2247581_ .

[11] ***Di Pietro R, Raponi S, Caprolu M, Cresci S.*** New Dimensions of Information Warfare. Advances in Information Security. (2021). 262 p. DOI:10.1007/978-3-030-60618-3 10.1007/978-3-030-60618-3.

[12] ***Mystakidis S.*** Metaverse**.** Encyclopedia 2022, 2, 486–497. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031.

[13] ***Skarbez R, Smith M, Whitton MC.*** Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. Front. Virtual Real. (2021) 2:647997. DOI: 10.3389/frvir.2021.647997.

[14] ***Collins J, Regenbrecht H, Langlotz T.*** Visual Coherence in Mixed Reality: A Systematic Enquiry. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2017; 26(1): 16–41. DOI:10.1162/pres_a_00284.

[15] ***Nabokova LS, Zagidullina FR.*** Prospects for the introduction of augmented and virtual reality technologies in the sphere of the educational process of higher education [In Russian]. Vocational education in the modern world. 2019; 9(2): 2710–2719.

[16] ***Jumani AK, Siddique WA, Laghari AA, Abro A, Ayub Khan A.*** Virtual Reality and Augmented Reality for Education. In: Tiwari,R., Duhan,N., Mittal,M., Anand,A., Attique Khan, M.(eds) Multimedia Computing Systems and Virtual Reality . Chapter 9. Taylor & Francis . 2022: 189-210 . DOI: 10.1201/9781003196686-9.

[17] ***Sabitov O.*** Startup Varwin has launched a free VR application constructor for business [In Russian]. June 10, 2019. Hi-tech https://hightech.fm/2019/06/10/varwin.

[18] ***Taylor S, Soneji S.*** Bioinformatics and the Metaverse: Are We Ready?. Front. Bioinform. (2022) 2:863676. DOI:10.3389/fbinf.2022.863676.

[19] ***Rauschnabel PA, Felix R, Hinsch C, Shahab H, Alt F.*** What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality, Computers in Human Behavior, 2022; 133, 107289, ISSN 0747-5632, DOI:10.1016/j.chb.2022.107289.

[20] ***Yaroslavsky E.*** Augmented Reality Constructor ARTAR. 2021. [In Russian]. https://vc.ru/tribuna/221559-konstruktor-dopolnennoy-realnosti-artar.

[21] Introduction to MRTK for Unreal. 2022 [In Russian]. https://docs.microsoft.com/ru-ru/windows/mixed-reality/develop/unreal/unreal-mrtk-introduction.

[22] 5 Top Tools for VR And AR Development. Enterprise Engineering Solutions. https://www.eescorporation.com/tools-for-vr-and-ar-development/.

[23] The AVR Platform Simplifies AR And VR Content Creation For Academic Institutions And Enterprises. https://eonreality.com/the-avr-platform-simplifies-augmented-and-virtual-reality-content-creation-for-academic-institutions-and-enterprises/.

[24] Virtual and augmented reality will bring the Russian economy 340 billion rubles [In Russian]. https://www.cnews.ru/articles/2019-12- 15_virtualnaya_i_dopolnennaya_realnost.
[25] Augmented and Virtual Reality in Education. The App Solutions. [Online]. Available at: https://theappsolutions.com/blog/development/ar-vr-in-education/
[26] ***Damar M.*** Metaverse Shape of Your Life for Future: A bibliometric snapshot. Journal of Metaverse, (2021). 1(1), 1-8 https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2112/2112.12068.pdf.
[27] ***Mata ASd.*** Complex Networks: A Mini-review. Braz J Phys 50, 658–672 (2020). DOI:10.1007/s13538-020-00772-9.
[28] ***Berestneva O, Lyzin I, Yumasheva A, Marukhina O, Trufanov A.*** The use of computer visualization in the analysis of breathing curves. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. January 2021. 1019. 012007. DOI:10.1088/1757-899X/1019/1/012007.
[29] ***Duga SV, Sebyakin AG, Trufanov AI, Nosyreva LL.*** The concept of a decision support system in the preliminary investigation. Information technology security [In Russian]. 2019; 26(3): 45-57. DOI: http://dx.doi.org/10.26583/bit.2019.3.04.
[30] ***Semenov M, Lelushkina K.*** Study of the Materials Microstructure using Topological Properties of Complex Networks 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 135 012040 DOI:10.1088/1757-899X/135/1/012040.
[31] ***Silva VF, Silva ME, Ribeiro P, Silva F.*** Time series analysis via network science: Concepts and algorithms. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 2021; 11(3). DOI:10.1002/widm.1404.
[32] ***Mourchid Y, El Hassouni M, Cherifi H.*** A general framework for complex network-based image segmentation. Multimedia Tools and Applications, 2019; 78(14), 20191–20216. DOI:10.1007/s11042-019-7304-2.
[33] ***De Lima GVL, Castilho TR, Bugatti PH, Saito PTM, Lopes FM.*** A Complex Network-Based Approach to the Analysis and Classification of Images. Lecture Notes in Computer Science, 2015; 322–330. DOI:10.1007/978-3-319-25751-8_39 .
[34] ***Berceanu C, Pătrașcu M.*** Engineering Emergence: A Survey on Control in the World of Complex Networks. Automation 2022, 3, 176-196. https://doi.org/10.3390/automation3010009.
[35] ***Berestneva O, Marukhina O, Rossodivita A, Tikhomirov A, Trufanov A.*** Networkalization of Network–Unlike Entities: How to Preserve Encoded Information. Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. 2019. 143–151.
[36] ***Trufanov A, Kinash N, Tikhomirov A, Berestneva O, Rossodivita A.*** Image Converting into Complex Networks: Scale- Level Segmentation Approach // Proc. IV Int.Conf. "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine"(ITSMSSM 2017) / Series: Advances in Computer Science Research. Atlantis Press. 2017; 72: 417-422.
[37] ***Barkoky A, Charkari NM***. Complex Network-based features extraction in RGB-D human action recognition. Journal of Visual Communication and Image Representation. Volume 82, January 2022, 103371.
[38] ***Winkler R, Hobert S, Salovaara A, Söllner M, Leimeister JM.*** Sara, the Lecturer: Improving Learning in Online Education with a Scaffolding-Based Conversational Agent. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. DOI:10.1145/3313831.3376781.
[39] ***Borgest NM, Vlasov SA, Gromov AlA, Gromov AnA, Korovin MD, Shustova DV.*** Robot-designer: on the way to reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 429-449.
[40] ***Borgest NM.*** Pattern recognition when creating artifacts as a metaphor and as applied technologies of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 19-29.
[41] ***Baggio R.*** (2020) Digital Ecosystems, Complexity, and Tourism Networks. In: Xiang Z., Fuchs M., Gretzel U., Höpken W. (eds) Handbook of e-Tourism. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-05324-6_91-1.
[42] ***Park SM, Kim YGA.*** Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges, IEEE ACCESS, 2022; 10: 4209–4251.
[43] ***Wang S, Herzog ED, Kiss IZ, Schwartz WJ, Bloch G, Sebek M, Granados-Fuentes D, Wang L, Li J-S.*** Inferring dynamic topology for decoding spatiotemporal structures in complex heterogeneous networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, (2018). 201721286. DOI:10.1073/pnas.1721286115.
[44] ***Ambrosiano J, Sims B, Bartlow AW, Rosenberger W, Ressler M, Fair JM.*** Ontology-Based Graphs of Research Communities: A Tool for Understanding Threat Reduction Networks. Frontiers in Research Metrics and Analytics, (2020). 5. DOI:10.3389/frma.2020.00003.
[45] ***Simperl E, Luczak-Rösch M.*** Collaborative ontology engineering: a survey. The Knowledge Engineering Review, 2013; 29(01): 101–131. DOI:10.1017/s0269888913000192.

About the authors

Olga Grigoryevna Berestneva (b. 1955) graduated from the Tomsk Polytechnic Institute in 1976, Doctor of Technical Sciences (2008). Professor of the Department of Information Technologies, TPU Institute of Information Technologies. Since 2009, she has been an RFBR expert in area Information technologies and computer systems. The list of scientific papers includes more than 200 papers in the field of research and development of information technologies in education and health care. Author ID (РИНЦ): 112998; Author ID (Scopus): 10043013900; Researcher ID (WoS): R-7316-2016. *ogb6@yandex.ru.*✉

Ivan Alexandrovich Lyzin (b. 1993) graduated from the Tomsk Polytechnic University (TPU) in 2018, PhD student, School of Engineering Information Technology and Robotics, TPU. He is a co-author of more than 30 papers. Author ID (Scopus): 57218651308; ORCID: 0000-0003-2827-441X. *Lyzin@tpu.ru.*

Alexei Anatolyevich Tikhomirov (b. 1951) graduated from Moscow State University named after Lomonosov (Moscow, USSR) in 1973, D.Sc. (1981). Professor of CIS Cooperation Center, Inha University, Republic of Korea. He is a member of the International Informatization Academy. He is a co-author of about 100 papers in the fields of economics and network science. ORCID: 0000-0002-7317-5851. *alexeitikhomirovprof@gmail.com.*

Mikhail Viktorovich Korniakov (b.1974) graduated from Irkutsk State Technical University (ISTU) in 1997, D.Sc. (2008).). Rector of Irkutsk National Research Technical University He is a co-author near 100 papers in the fields of mining technologies, economics and education *kornikov@istu.edu.*

Gholamreza Jafari (b. 1970) graduated from Sharif University of Technology (Tehran, Iran) in 2001, PhD (2006). Professor at Irkutsk National Research Technical University (Institute of Information Technology and Data Science). He is a coauthor of more than 120 publications in the field of physics of complex systems and its applications in social to cognitive sciences. ORCID: 0000-0003-4308-207X; Author ID (WoS): D-8181-2011; Author ID (Scopus): 8558289900. *gjafari@gmail.com.*

Sergey Vladimirovich Duga (b. 1985) graduated from Irkutsk State University in 2008. PhD student of Irkutsk National Research Technical University (Institute of Information Technology and Data Science). Senior Expert of the Computer and Technical Research Department of the Forensic Expert Center of the Investigative Committee of the Russian Federation. He is a co-author of 6 scientific articles. ORCID: 0000-0002-5894-9855. *siber@list.ru.*

Kuular Edita Kankievna (b. 1991) graduated from Irkutsk National Research Technical University (INRTU) in 2015, engineer with a degree in Information Systems and Technologies. 2019 Graduated from INRTU, Lecturer-Researcher in the field of Informatics and Computer Engineering. She is Assistant at Irkutsk National Research Technical University (Institute of Information Technology and Data Science). The list of scientific papers includes 9 papers on network analysis of audio data. *kuular1991@mail.ru.*

Andrey Ivanovich Trufanov (b. 1950) graduated from Leningrad Polytechnic Institute named after Kalinin (Leningrad, USSR) in 1973, Ph.D. (1980). Associate Professor at Irkutsk National Research Technical University (Institute of Information Technology and Data Science). Member of the International Informatization Academy. He is a co-author of more than 200 papers in the fields of radiation physics, information security and network science. ORCID: 0000-0002-6967-3495; Author ID (RSCI): 635311; Author ID (Scopus): 7003762385. *troufan@istu.edu*.

Petrova Lyudmila Andreevna (b. 1950). Graduated from Tomsk State Pedagogical Institute in 1972, Ph.D. (1995). Associate Professor of the Department of Pedagogy of the State University of Humanities and Technology. Member of the International Pedagogical Academy. The list of scientific papers includes about 100 works in the field of education. ORCID: 0000-0002-3514-654X; Researcher ID: ABH-4360-2020. *plandr50@mail.ru*.

Received May 3, 2022. Revised June 10, 2022. Accepted June 27, 2022.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 621:658 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244

Проектирование схемы системы поддержки принятия решений на основе онтологии перекомпонуемого производства

© 2022, Т.А. Пищухина

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Аннотация

Цель работы – проектирование схемы системы поддержки принятия решений перекомпонуемого производства с применением онтологического подхода и математического моделирования. Проведена декомпозиция процесса производства продукции в перекомпонуемом производстве, выделены основные влияющие факторы. Приведена концептуальная схема и иерархия классов построенной онтологии предметной области. Для учёта приоритетности влияющих факторов и выявления управляющих воздействий, влияющих на скорость перекомпомпоновки производства, разработана причинно-следственная схема Исикавы. Предложено формализованное описание процесса выбора оптимального пути перекомпонования производственной системы. Разработана схема системы поддержки принятия решений для перекомпонуемого производства, основанная на учёте временных и пространственных факторов перекомпоновки. Предложена структура времени перекомпоновки, позволяющая оптимизировать несколько факторов одновременно. Приведён пример оптимизации времени перекомпоновки участка перекомпонуемого производства с применением метода динамического программирования Беллмана и теории графов.

Ключевые слова: *перекомпонуемое производство, системы поддержки принятия решений, оптимизация, декомпозиция, онтология, диаграмма Исикавы.*

Цитирование: *Пищухина Т.А.* Проектирование системы поддержки принятия решений на основе онтологии перекомпонуемого производства // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.231-244. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244.

Конфликт интересов: *автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.*

Введение

Рыночный спрос является ориентиром для производства продукции, а его быстрые изменения требуют от производства такой же мгновенной реакции. Существующие производственные системы (ПС) не способны отвечать этим требованиям, что дало толчок разработке новых парадигм в производственной сфере, таких как перекомпонуемые ПС [1-3].

Основной характеристикой таких ПС является время их перенастройки на новый вид продукции. Чтобы сократить процесс перенастройки следует рассмотреть всю совокупность факторов, которые оказывают на него непосредственное влияние. Эта задача включает комплекс разнородных сложно совместимых данных, объединить которые возможно только с применением онтологического моделирования. Дальнейший анализ и обработка схемы предметной области (ПрО) позволяет разработать схему системы поддержки принятия решений (СППР) для перекомпоновки ПС. Современное промышленное производство является сложным технологическим и многопрофильным комплексом, влияющим на развитие всей

страны и формирующим основу её экономики. Анализу сложившейся ситуации в сфере производства в России посвящено много работ [4-7]. Ориентация на потребителя привела к сокращению цикла производства, широкому ассортиментному разнообразию и смене технологического уклада. Можно ожидать, что требования к гибкости реагирования на изменение спроса будут возрастать.

Цель работы – разработка схемы СППР перекомпонуемого производства с применением онтологического подхода и математического моделирования.

1 Структурно-функциональный анализ перекомпонуемого производства

Функционирование перекомпонуемой ПС зависит от продукции, на которую она должна настраиваться, поэтому при разработке СППР следует, прежде всего, рассмотреть её производственный процесс (ПП) в подобных условиях. На системном уровне это лучше всего сделать, используя методологию *IDEF0* [8].

Контекстная диаграмма *IDEF0* ПП перекомпонуемого производства показана на рисунке 1. Основной функцией выбран процесс «Изготовление продукции в перекомпонуемом производстве». Входными величинами определены классические для промышленного производства энергия, сырье и входная информация, а заявка на продукцию является отражением быстрого изменения внешних условий, в которых продукция изготавливается по отдельным дискретным запросам, пока является востребованной. Заявка формируется с помощью целевой уставки «Рыночный спрос», который в первую очередь определяет состояние рынка изделий и формирует приоритетные направления функционирования перекомпонуемой ПС. Другие управляющие ограничения (условия) определяются стандартами, включающими ГОСТы, законы, рекомендации и др. документы, а также нормы, по которым исполняются ПП и изготавливаются промышленные изделия. В качестве выходной информации служат готовые изделия и данные, сопровождающие их, например, документация на продукцию.

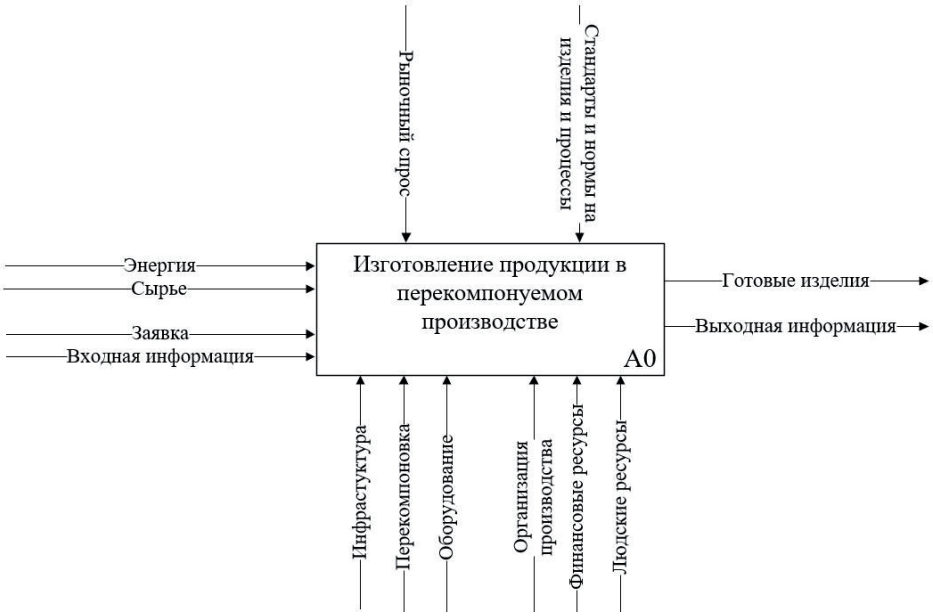


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма ПП в перекомпонуемом производстве

Механизмами реализации в перекомпонуемом производстве выступают: инфрастуктура, включающая транспорт, материально-техническое снабжение, складское, инструментальное, ремонтное и другие обеспечивающие хозяйства; оборудование, содержащее станки, манипуляторы, транспортные машины, измерительные и регулирующие устройства и т.п.; людские

ресурсы; организация производства, как комплекс методов, мер и принципов, направленных на эффективное осуществление функционирования производства. Для перекомпонуемого производства отличительным механизмом выступает перекомпоновка, в которую могут входить, методы, алгоритмы, шаблоны, варианты технологического процесса (ТП) и др.

Для определения функций ПС проведена декомпозиция первого уровня (см. рисунок 2). ТП перекомпонуемого производства, согласно предварительному распределению функций, проходит четыре стадии:

1) анализа и проектирования;
2) выработки управления по исполнению процесса;
3) реализации;
4) оценки качества исполнения.

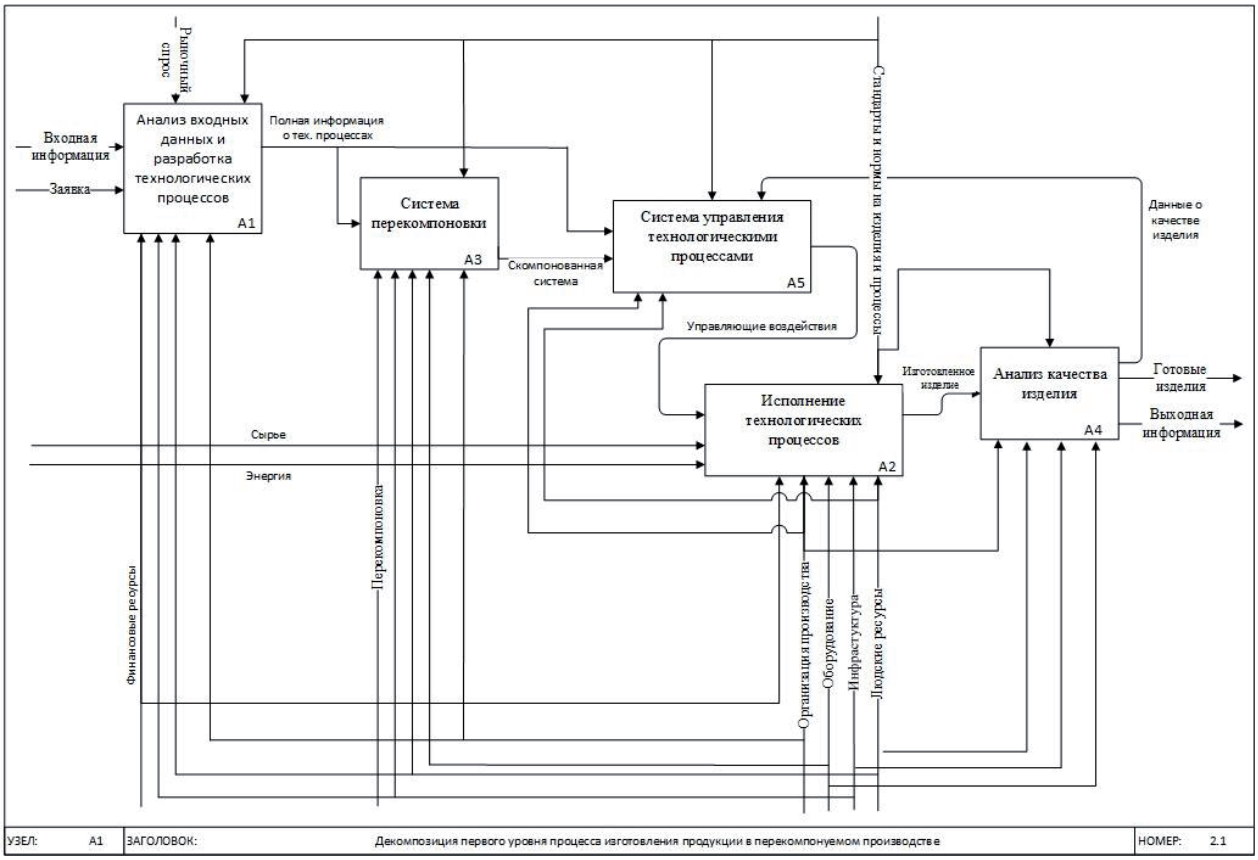


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции первого уровня процесса изготовления продукции в перекомпонуемом производстве

Стадия анализа и проектирования реализована в блоке «Анализ входных данных и разработка ТП». Здесь заявка проходит оценку и с учётом всей входной информации формируется последовательный путь исполнения операций. Целевыми уставками в этом случае являются рыночный спрос и ограничения, такие как стандарты и нормы исполнения ТП. Результатом процесса является полностью сформированная информация о ТП, например, в форме маршрутной или технологической карты, поступающей на вход блока «Система перекомпоновки», который совместно с блоком «Система управления ТП» реализует вторую стадию – выработку управляющих воздействий по исполнению процесса.

Система перекомпоновки сверяет текущие конфигурации с требуемыми, и если компоновки не совпадают, формирует команды на изменение компоновки ПС. По окончании процесса перекомпонования на выходе блока генерируется сигнал о готовности компоновки си-

стемы, получив который «Система управления ТП» начинает вырабатывать управляющие воздействия на следующий блок «Исполнение ТП». Ограничениями для перекомпоновки, как и для блока «Система управления ТП» служат стандарты и нормы на процессы и изделия, поступающие в блок сверху. В систему управления дополнительно передаются данные о качестве готовых изделий. Механизмы обоих блоков содержат организацию производства и людские ресурсы. В блок перекомпоновки в качестве добавочных механизмов входят: перекомпоновка, инфраструктура и оборудование.

Стадия реализации ТП представлена блоком «Исполнение ТП», который помимо команд управления от предыдущего блока получает на вход также энергию и сырье для осуществления ТП. В ограничения блока включены стандарты с нормами исполнения ТП, а механизмы содержат инфраструктуру, оборудование, организацию производства и людские ресурсы. Работа блока оканчивается выдачей готового изделия.

Стадия оценки качества осуществляется блоком «Анализа качества изделия». В роли ограничений сверху поступают стандарты и нормы на процессы и изделия, а в механизмах участвуют оборудование, инфраструктура и людские ресурсы. Выход – это готовое изделие вместе с выходной информацией, в частности, документацией на продукт.

На рисунке 3 показана дальнейшая декомпозиция *IDEF0* для блока «Система перекомпоновки», который включает два процесса: управление компоновкой и изменение компоновки.

На первой стадии происходит сравнение текущей и требуемой компоновок на основе входящего потока полной информации о ТП и формируются управляющие воздействия по изменениям в компоновке ПП, вторая стадия реализует эти изменения, выдавая на выходе окончательно скомпонованную ПС.

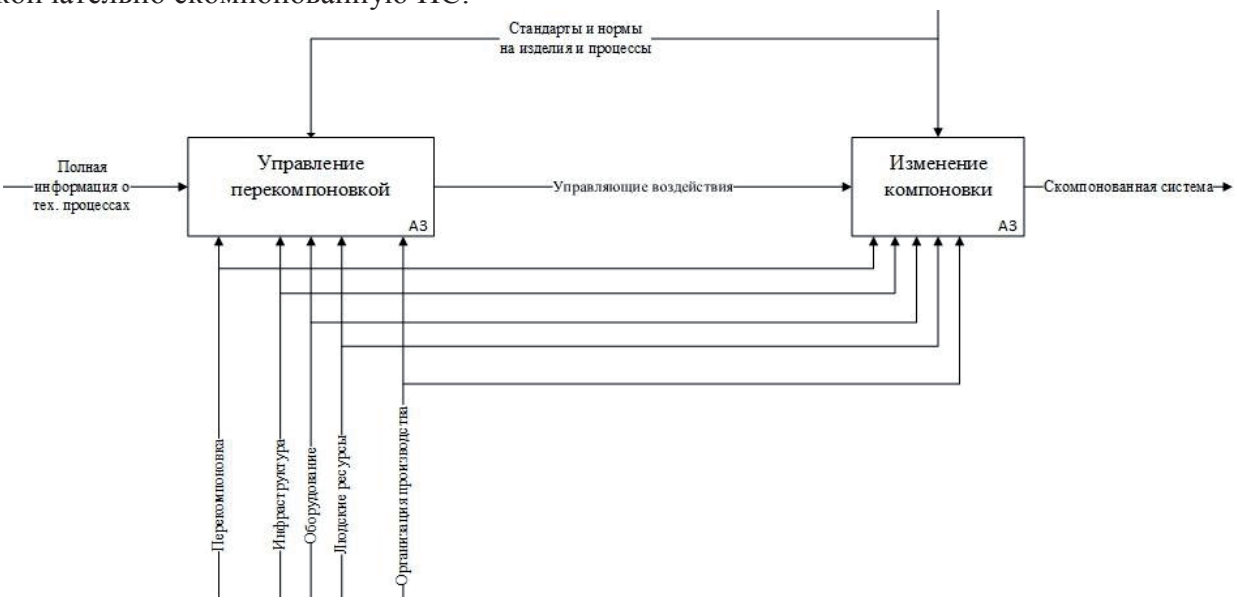


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции второго уровня процесса изготовления продукции в перекомпонуемом производстве для блока «Система перекомпоновки»

Ограничения и механизмы обеих стадий остаются аналогичными тем, что входят в блок «Система перекомпоновки».

2 Онтологии перекомпонуемого производства

Онтологии позволяют формализовать знания о ПрО для разрабатываемой СППР в виде множества обобщённых понятий (концептов). В области ПС имеется многообразие онтологий, представляющих ресурсы производства [9]. Одной из самых известных является произ-

водственная онтология [10], созданная для описания процессов производства с целью независимости описания от приложений, представляющих эти процессы. Производственные онтологии являются прикладными и сосредоточены на интеграции производственных информационных систем или моделировании отдельных ПП. Они не учитывают особенности перекомпонуемых ПС.

Проведённая декомпозиция процесса изготовления изделия в перекомпонуемом производстве (рисунки 1-3) служит основой разрабатываемой онтологии, концептуальная схема которой показана на рисунке 4.

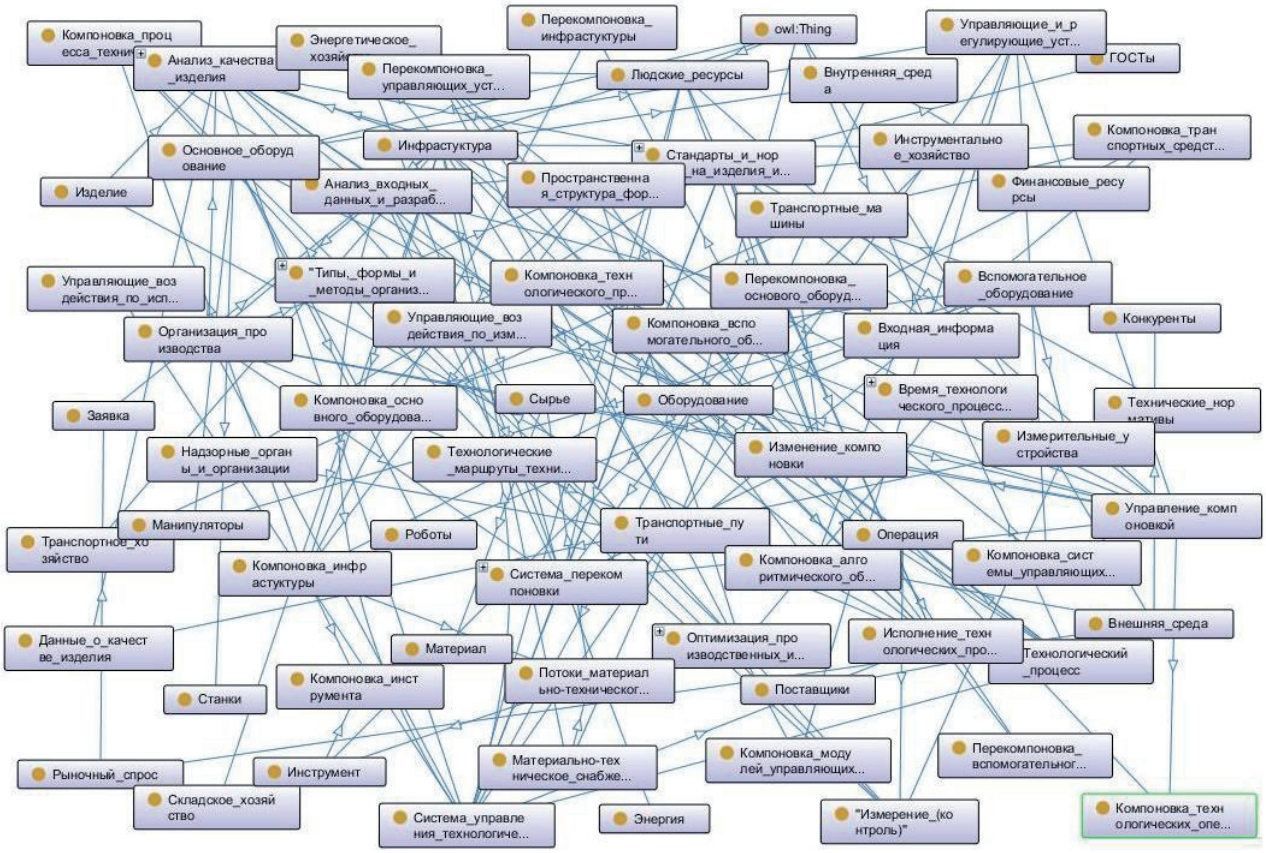


Рисунок 4 – Концептуальная схема онтологии перекомпонуемого производства

Понятие «оборудование» включает основное и вспомогательное оборудование, которые характеризуются атрибутами «компоновка основного оборудования» и «компоновка вспомогательного оборудования» соответственно. Через атрибут, называемый «перекомпоновка», обе связаны с системой перекомпоновки, оказывающей непосредственное влияние на перестройку ПС под новую продукцию с помощью «системы управления ТП», вырабатывающей «управляющие воздействия» для «исполнения ТП». Перекомпоновка связана с понятием «оптимизация ПП и ТП», которое является подразделением понятия «пространственная структура форм организации производства», присутствующего как атрибут у механизма «типы, формы и методы организации производства», характеризующего область «организация производства». Сокращение времени перенастройки обеспечивается также за счёт другого атрибута связки «организация производства» - «типы, формы и методы организации производства», присутствующего в оптимизации, – «временной структуры форм организации производства». Если первый компонент по компоновке обеспечивает сокращение перенастройки за счёт перекомпонования системы в пространстве, то второй служит для уменьшения времени исполнения ТП путём выбора наилучшего пути его реализации.

На рисунке 5 показан фрагмент иерархии классов онтологии перекомпонуемого производства. В него входят все наборы таксономий ПрО, формируя единую структуру.

Семантическая сеть используется в качестве модели представления знаний и служит основой для создания онтологии. Комбинация всевозможных конфигураций с разными параметрами позволит оценить влияние каждого фактора на ПС и выбрать оптимальный вариант исполнения ТП.

Для конкретизации структуры процесса управления перекомпонуемым производством и выделения всех входящих в него потоков построена диаграмма Исикавы (рисунок 6). Жирным шрифтом отмечены потоки управления, обычным – входящие потоки. Факторы проранжированы в порядке воздействия на конечный результат, если идти слева направо. Ячеистая пространственная структура форм организации производства рекомендуется как структура, сокращающая время переналадки, маршруты перемещения деталей и другие накладные расходы [11].

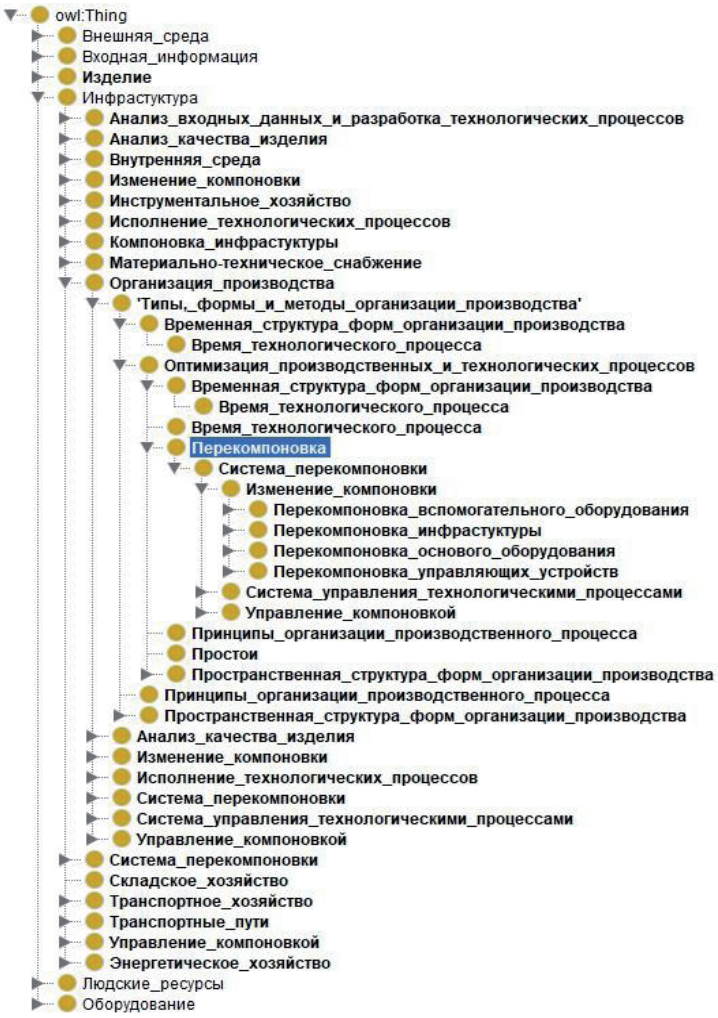


Рисунок 5 – Фрагмент иерархии классов онтологии перекомпонуемого производства

Рисунок 6 – Диаграмма Исикавы факторов, влияющих на скорость перекомпоновок производства

3 Показатели эффективности перекомпонуемого производства

В качестве показателя эффективности перекомпонуемого производства рационально выбрать время перенастройки системы на новую продукцию (в зарубежной терминологии *lead-time*, время выполнения заказа [12]).

Перенастройка начинается в момент получения новой заявки на входе ПС. Первоначально заявку необходимо проанализировать и выделить параметры ТП. Пусть время анализа заявки занимает $t_{ан}$. Следующий этап – разработка ТП, длительность которой $t_{раз.тех.пр.}$. Готовый ТП поступает в систему перекомпоновки, где происходит главная перенастройка, состоящая из нескольких ключевых этапов:

- сравнение текущей компоновки и затребованной для выявления минимально необходимых преобразований за время $t_{срав.комп}$ (на этом этапе перекомпоновка может закончиться, если затребованная и фактическая компоновка системы совпадают);
- перекомпоновка основного оборудования, длительность которой $t_{осн.об.}$;
- перекомпоновка вспомогательного оборудования $t_{всп.об.}$;
- перекомпоновка управляющих устройств $t_{упр.устр.}$, включающая в том числе перекомпоновку алгоритмов управления и регулирования;
- перекомпоновка инфраструктуры $t_{инфр.}$.

При перекомпоновке основного оборудования следует учитывать тот факт, что для начала исполнения нового ТП перекомпонуемой системе не нужно проводить перенастройку всей системы в целом, достаточно настроить только первые несколько операций. В течение того периода времени, пока они будут исполняться, остальная часть системы может успеть перестроиться для выполнения второй операции, затем незадействованная во второй операции часть – для третьей и так далее. Можно осуществлять этот процесс непосредственно во время реализации технологии либо на этапе управления её готовностью к внедрению. Здесь появляется возможность ввести управляющие воздействия по сокращению времени перенастройки за счёт СППР, которая будет выбирать, какое оборудование и как можно перестроить с меньшими временными потерями вследствие перебора большого числа вариантов исполнения ПП в перекомпонуемой ПС.

Рационально представить каждый из обозначенных выше временных промежутков системы перекомпоновки как множество диапазонов времени, соответствующих перенастройке на исполнение отдельных операций:

$$t_{осн.об.} = \{t^{оп1}_{осн.об.}, t^{оп2}_{осн.об.}, ..., t^{опm}_{осн.об.}\};$$

$$t_{всп.об.} = \{t^{оп1}_{всп.об.}, t^{оп2}_{всп.об.}, ..., t^{опm}_{всп.об.}\};$$

$$t_{упр.устр.} = \{t^{оп1}_{упр.устр.}, t^{оп2}_{упр.устр.}, ..., t^{опm}_{упр.устр.}\};$$

$$t_{инфр.} = \{t^{оп1}_{инфр.}, t^{оп2}_{инфр.}, ..., t^{опm}_{инфр.}\}.$$

Здесь m – количество операций в ТП. Необходимо также учитывать затраты времени («транспортные расходы») на перемещение между станками:

$$t_{трансп.рас.} = \{t^{оп1}_{трансп.рас.}, t^{оп2}_{трансп.рас.}, ..., t^{опm}_{трансп.рас.}\}.$$

В блочной матрице со строками из имеющихся выше множеств сумма по столбцу будет полным временем перекомпоновки по отдельной операции, а сумма элементов всей матрицы даст полное время перестройки на новый ТП. Если рассматривать управление временем перекомпоновки ПС для каждого из ТП по операциям, то его можно разбить на m шагов и воспользоваться методом динамического программирования Беллмана для получения оптимального значения [13]. Функция Беллмана имет вид:

$$F_k(t_{тек.}) = \min_J \left\{ t_{tJ} + F_{k-1}(J) \right\}.$$

где t_{tJ} – время перекомпоновки для одной операции; $t_{тек.}$ – текущая операция ТП; $F_k(J)$ – минимально возможная длительность перекомпоновки для всех оставшихся операций.

Очевидно, что для первого шага (k = 1) длительность перекомпоновки по времени равна полному времени перекомпоновки от первой до последней операции.

Некоторое значение J^*, на котором достигается минимум функции Беллмана, и будет минимальным временем перекомпоновки всего ТП.

Расчёт оптимального значения по методу динамического программирования даст лишь минимальное время компоновки одного из возможных вариантов настройки ПС на ТП. Вычисление оставшихся вариантов – итерационный процесс, который может быть остановлен заданием количества итераций или времени окончания. Перебрать все возможные комбинации исполнения ТП при наличии перекомпоновки всех элементов системы не представляется возможным, но указанная методика позволит выбрать оптимальный вариант из заданного множества и тем самым сократить время перенастройки системы на новую продукцию.

Пример расчёта оптимального варианта перекомпоновки. На рисунке 7 схематически показан фрагмент цеха перекомпонуемого производства, состоящего из перекомпонуемых станков и станций-ячеек, способных полностью обрабатывать деталь на одном рабочем месте. Пунктирными линиями выделены транспортные пути по цеху и внутри ячеек. Инфраструктура может быть распределённой по цеху, либо быть сосредоточенной в одном месте.

Пусть в цех поступило новое задание, определяемое заявкой. Часть станков ещё может быть занята отработкой изделий по предыдущей заявке. Пусть заняты станок R2 и станция S2. Компоновка свободных станков сравнивается с заявленной под новую технологию компоновкой. Сравнение можно осуществить, например, по количеству необходимых трансформаций и времени, которое под них отводится. Чем меньше это время, тем больше совпадают компоновки. Если при первом сравнении время стремится к нулю, то компоновки считаются равными, и задание сразу поступает на обработку.

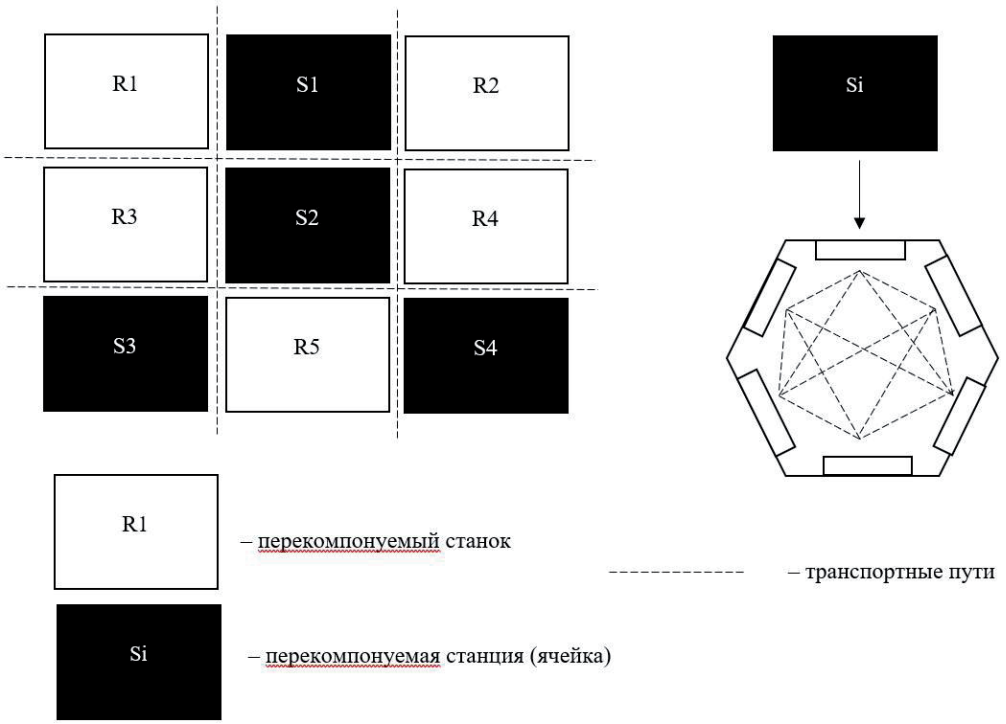


Рисунок 7 – Схема фрагмента цеха перекомпонуемого производства

Если компоновки не совпадают, то СППР должна определить оптимальный вариант перекомпоновки ПС на новую технологию. Возможен вариант с параллельным выполнением нескольких операций. При такой настройке выбираемых на одной операции станков (станций) может быть несколько. В примере исполнение операций считается последовательным.

Структура времени перекомпоновки станка (станции) на одну операцию показана на рисунке 8.

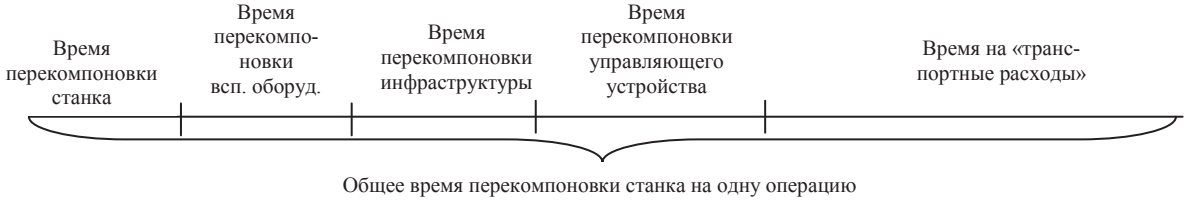


Рисунок 8 – Структура времени перекомпоновки станка

СППР просчитывает время перекомпоновки всех станков и станций в ПС при переходе из текущего состояния на каждую из *m* операций нового ТП. В расчёты также входит совокупность диапазонов перекомпоновки каждого станка и станции из любой другой операции (кроме первой) на любую другую операцию нового ТП, следующую за этой операцией, т.е. это наборы временных показателей:

$t_{перекомпоновки}$ (тек. → операция 1 нового), $t_{перекомпоновки}$ (тек. → операция 2 нового),…, $t_{перекомпоновки}$ (тек. → операция *n* нового);

$t_{перекомпоновки}$ (операция 1 нового → операция 2 нового), $t_{перекомпоновки}$ (операция 1 нового → операция 3 нового), …, $t_{перекомпоновки}$ (операция 1 нового → операция *m* нового);

$t_{перекомпоновки}$ (операция 2 нового → операция 3 нового), $t_{перекомпоновки}$ (операция 2 нового → операция 4 нового), …, $t_{перекомпоновки}$ (операция 2 нового → операция *m* нового);

…

$t_{перекомпоновки}$ (операция m-1 нового → операция *m* нового);

Набор этих величин даёт совокупность времени перекомпоновки всей ПС, начиная с любого станка. Можно построить граф последовательности времени перекомпоновки ПС на новый ТП с любого станка и сравнить эти последовательности по времени, чтобы выбрать оптимальную. Можно построить взвешенный граф с учётом, что R2 и S2 ещё заняты. При построении графа длительность операций может быть включена во время перекомпоновки станка. Весы на графе и есть диапазоны времени перекомпоновки каждой из единиц оборудования (рисунок 9). Станки в течение ТП могут использоваться несколько раз и в любом порядке, учитывая возможность перекомпоновки на любую операцию, поэтому каждая единица оборудования соединена дугами со всеми остальными.

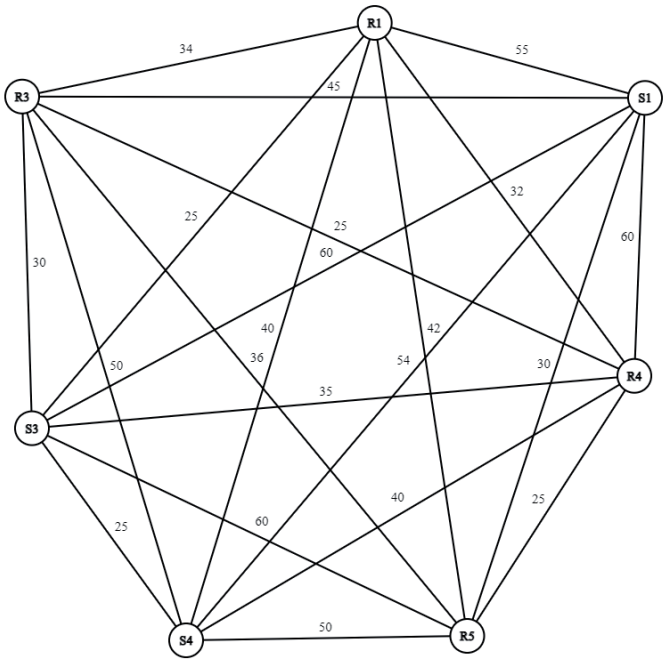


Рисунок 9 – Граф для расчёта времени перекомпоновки ПС

Вид графа на рисунке 9 демонстрирует невозможность перебора всех вариантов исполнения ТП при условии наличия перекомпоновки любой единицы оборудования на любую операцию вследствие наличия большого числа циклов. Поэтому можно ограничить перебор, например, с учётом условия отсутствия простоев оборудования всем набором остовных подграфов, которые означают попадание всех вершин графа в подграф, то есть участие каждой единицы оборудования в ТП. Граф на рисунке 9 является полным, поэтому количество остовных деревьев в нём равно: $n^{(n-2)} = 7^5 = 16807$. Перебор такого количества возможен с остановкой на заданном числе итераций или по достижении определённого времени.

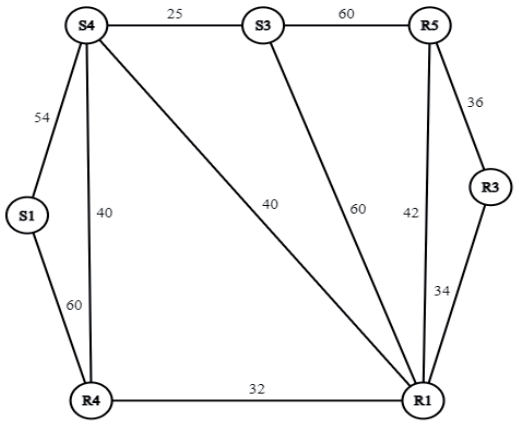


Рисунок 10 – Остовный подграф графа на рисунке 9 для расчёта времени перекомпоновки одного из вариантов ТП

Можно рассмотреть расчёт времени перекомпоновки хотя бы для одного варианта ТП. Один из остовных подграфов, выделенных из графа на рисунке 9 показан на рисунке 10. Сам подграф также имеет множество путей реализации, но выбором начального станка и направлением движения его можно ограничить. Пусть обход начинается со станции S1 и пусть движение задано слева-направо, причём попадание в следующую вершину исключает возврат в предыдущую. При такой постановке это вырождается в классическую задачу о путешествиях [14], которую можно решить методом динамического программирования Беллмана, если разбить граф по поясам на участки-уровни: S1 – к первому, S4 и R4 относятся ко второму уровню, S3 – к третьему, R1, R5 – к четвертому и R3 – к пятому. Начиная из конечной вершины и считая её конечной точкой оптимального пути, можно пройти по всему графу, рассчитывая функцию Беллмана.

1-й шаг: к = 1; $F_1(t_{тек.}) = t_{R3}$

$t_{тек.}$ / J	R3	$F_1(t_{тек.})$	J*
R1	34	34	R3
R5	36	36	R3

2-й шаг: к = 2; $F_2(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_1(t_{тек.})\}$

$t_{тек.}$ / J	R1	R5	$F_2(t_{тек.})$	J*
S3	34+60	36+60	94	R1, R5
R1	–	36+42	108	R5
S4	34+40	–	74	R1
R4	34+32	–	66	R1

3-й шаг: к = 3; $F_3(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_2(t_{тек.})\}$

$t_{тек.}$ / J	S3	R1	S4	R4	$F_3(t_{тек.})$	J*
S4	94+25	34+40	–	66+40	74	R1, S3
R4	–	108+32	74+40	–	114	R1, S4
S1	–	–	74+54	66+60	126	S4, R4

4-й шаг: к = 4; $F_4(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_3(t_{тек.})\}$

$t_{тек.}$ / J	R4	S4	S1	$F_4(t_{тек.})$	J*
S1	114+60	74+54	–	128	R4, S4

Минимально короткий путь перекомпоновки в данном варианте ТП $T_{пер.} = F_4(t_{тек.}) = 126$. Он достигается по пути S1 → R4 → R1 → R3. Далее можно выделить следующий остовный подграф графа на рисунке 9 и подсчитать оптимальный путь на нём. Выполнив этот процесс

столько раз, сколько задано по времени или ограничено итерациями, можно получить набор путей перекомпоновки в остовных подграфах, сопоставляя которые, выбрать минимальный.

При параллельном исполнении операций подобный граф и остовные подграфы строятся для каждой параллельно работающей ветви станков, работающих над разной совокупностью операций, на которые целесообразно распараллелить ТП.

4 Построение схемы СППР для перекомпонуемого производства

Разработанные модели позволяют осуществлять управление перенастройкой ПС с одной продукции на другую. Процесс формирования управляющих воздействий можно разбить на два направления оптимизации: пространственную и временную (оптимизацию времени перенастройки). Первое направление осуществляется за счёт перекомпонуемости производственного оборудования, его расположения и взаимодействия, а второе - сокращением времени исполнения процесса за счёт выбора транспортных путей, путей технического контроля, распараллеливания операций, переходов внутри операций и т.п. Оба фактора входят в показатель «время перекомпоновки».

Обобщение в онтологии различных факторов, влияющих на конечную цель, позволяет разработать схему СППР для повышения эффективности перенастройки ПС на новую продукцию. Укрупнённая схема СППР перекомпоновки для лица, принимающего решение (ЛПР), приведена на рисунке 11.

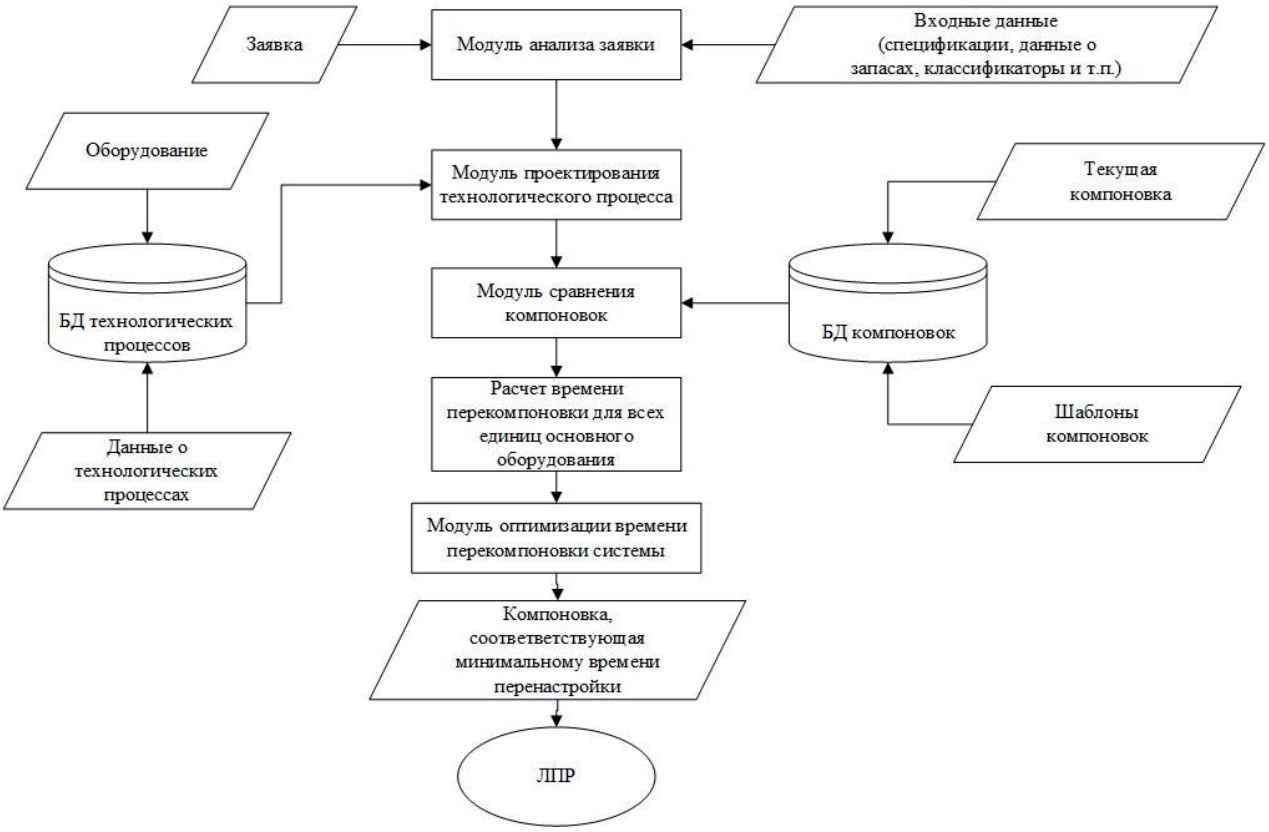


Рисунок 11 – Укрупнённая схема СППР для сокращения времени перенастройки перекомпонуемого производства на новую продукцию с точки зрения ЛПР

Реализация разработанной схемы СППР позволит выбрать эффективные пути перенастройки производства на новую продукцию, принимать решения об управляющем воздействии, реализуемом посредством перекомпоновки, оптимизируемой по времени.

Заключение

Основным показателем эффективности перекомпонуемого производства рассматривается время его перенастройки на новую продукцию. На основе проведённой декомпозиции процессов перекомпонуемого производства разработана онтология, учитывающая факторы, влияющие на этот показатель с учётом наличия возможности перекомпоновки всех элементов производства. Выделенные в работе параметры влияния сведены в критерий, позволяющий оценивать и выбирать пути более быстрой перенастройки ПС. Разработана схема СППР, которая позволит оказывать управляющие воздействия и принимать решения по процессам перекомпонуемого производства.

Практическая ценность заключается в формализованной модели управления подготовкой перекомпонуемого производства к переходу на другую продукцию, которую можно применить при построении СППР для ПП и ТП. Выявление основных влияющих факторов позволит оказывать управляющие воздействия на адаптацию и реагирование ПС к изменению потребностей рынка. Использование СППР позволит накопить статистическую информацию по функционированию перекомпонуемой ПС в процессе перенастройки, выявить и оценить дополнительные влияющие факторы.

Список источников

[1] ***Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y.*** Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing // Journal of Intelligent Manufacturing. 2000. Т.11. № 4. С.403-419.

[2] ***Царёв А.М., Левашкин Д.Г.*** Перекомпонуемые производственные системы реконфигурируемого производства. Обеспечение жесткости автоматически сменных узлов призматической формы: монография. Москва: Спутник+, 2007. 303 с.

[3] ГОСТ 26228-90 СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ГИБКИЕ. Термины и определения, номенклатура показателей. Flexible manufacturing systems. Terms and definitions, nomenclature of indices. М.: Издательство стандартов, 1990.

[4] ***Дуброва Т.А.*** Материально-техническая база предприятий обрабатывающих производств в России: текущее состояние и перспективы развития // В сборнике: Исследование социально-экономического развития территорий в условиях санкций и угроз глобальных вызовов: материалы I Всероссийской научно-практической конф. (20–23 мая 2020 г., Тамбов, Россия). – Тамбов: ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2020. С. 154-161.

[5] ***Варшавский А.Е.*** Актуальные проблемы реиндустриализации и импортозамещения / А.Е. Варшавский // Производство, наука и образование в эпоху трансформаций: Россия в [де]глобализирующемся мире (ПНО-VI): материалы VI Международного конгресса (04 декабря 2019 г., Москва, Россия). Под общей редакцией С.Д. Бодрунова. – Москва: ИНИР им. С.Ю. Витте, Конгресс работников образования, науки, культуры и техники (КРОН), 2020. С.133-146.

[6] ***Абдикеев Н.М., Морева Е.Л., Богачев Ю.С., Оболенская Л.В., Донцова О.И., Трифонов П.В., Бекулова С.Р., Тютюнник И.Г.*** Совершенствование поддержки секторов российской промышленности: монография. – Москва: ООО "Издательство "КноРус", 2022. 250 с.

[7] ***Орлов С.Ю.*** Предпосылки создания методологии реконфигурируемого производства (машиностроение) в условиях конкуренции // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 5-1 (10). С.98-101.

[8] Р 50.1.028-2001. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Госстандарт России, 2001. Дата введения 2002-07-01.

[9] ***Жиляев А.А.*** Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами // Онтология проектирования. 2019. Т.9. № 2 (32). С.261-281. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.

[10] ГОСТ Р ИСО 18629-1-2010 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Язык спецификаций процесса. Часть 1. Обзор и основные принципы. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2010.

[11] ***Мизюн В.А.*** Управление производственными системами и процессами / В.А. Мизюн. – Издательство СНЦ РАН. – 2012. – 211 с.

[12] ***Koren Y.*** Reconfigurable Manufacturing Systems / Y. Koren (University of Michigan), U. Heisel (Universitat Stuttgart) and others // Annals of the CIRP Vol. 48/2/1999, p. 527-540, DOI:10.1016/S0007-8506(07)63232-6.

[13] ***Беллман Р.*** Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. 400 с.
[14] ***Беллман Р.*** Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

Сведения об авторе

Пищухина Татьяна Александровна, 1978 г. рождения, доцент кафедры управления и информатики в технических системах Оренбургского государственного университета (ОГУ). Окончила ОГУ (2000) по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», магистратуру по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника» (2015). К.т.н. (2008). Доцент (2020). SPIN-код: 7438-6010, ORCID: 0000-0001-6458-770X. Author ID (RSCI): 607229. *tpuits@mail.ru.*

Поступила в редакцию 05.06.2022, после рецензирования 17.06.2022. Принята к публикации 24.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244

Designing a decision support system scheme based on the ontology of recomposable manufacturing

© 2022, **T.A. Pishchukhina**

Orenburg State, Orenburg, Russia

Abstract

The purpose of the work is to design a scheme of the DSS of a recomposable manufacturing using an ontological approach and mathematical modeling. The decomposition of the production process in the recomposed manufacturing is carried out, the main influencing factors are identified. The conceptual scheme and hierarchy of classes of the constructed ontology of the subject area are given. In order to take into account the priority of influencing factors and identify the controlling influences affecting the speed of reconfiguration of the recomposed manufacturing, the Ishikawa cause-and-effect diagram was developed. A formalized description of the process of choosing the optimal way to reconfigure the system is proposed. A DSS scheme for the reconfigurable manufacturing has been developed, based on the consideration of temporal and spatial factors of the reconfiguration. A recomposition time structure is proposed, which allows optimizing several factors at the same time. An example of optimizing the recomposition time of a recomposable manufacturing area using the Bellman dynamic programming method and graph theory is demonstrated.

Keywords: *recomposable manufacturing, decision support systems, optimization, decomposition, ontology, Ishikawa diagram.*

Citation: *Pishchukhina T.A.* Designing a decision support system scheme based on the ontology of recomposable manufacturing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 231-244. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 – Contextual diagram of the technological process in the recomposable manufacturing
Figure 2 – Decomposition diagram of the first level of the production process in the recomposable manufacturing
Figure 3 – Decomposition diagram of the second level of the production process in the recomposable manufacturing for the block "Recomposition system"
Figure 4 – Conceptual diagram of the ontology of the recomposable manufacturing

Figure 5 – Fragment of the class hierarchy of the ontology of the recomposable manufacturing
Figure 6 – Ishikawa diagram of factors affecting the speed of the recomposable reconfiguration
Figure 7 – Fragment of the workshop of the recomposable manufacturing
Figure 8 – The structure of the recomposable time of the machine
Figure 9 – Graph for calculating the time of system re-configuration
Figure 10 – The spanning subgraph of the graph in Figure 9 for calculating the time of recomposition of one of the variants of the technological process
Figure 11 – The general scheme of the DSS to reduce the time of reconfiguration of the recomposed manufacturing to new products from the point of view of the DSS

References

[1] ***Mehrabi MG, Ulsoy AG, Koren Y.*** Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing, // Journal of Intelligent Manufacturing. 2000; 11(4): 403-419.

[2] ***Tsarev AM, Levashkin DG***. Reconfigurable production systems of reconfigurable production. Ensuring the rigidity of automatically replaceable prismatic nodes: monograph. Moscow: Sputnik+, 2007. - 303 p.

[3] GOST 26228-90 Terms and definitions, nomenclature of indices [In Russian]. Moscow: Publishing house of standards, 1990.

[4] ***Dubrova TA.*** Material and technical base of manufacturing enterprises in Russia: current state and prospects of development [In Russian]. In the collection: Research of socio-economic development of territories in the conditions of sanctions and threats of global challenges: materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference (May 20-23, 2020, Tambov, Russia). Tambov: FGBOU VO "TSTU", 2020. pp. 154-161.

[5] ***Varshavsky AE.*** Actual problems of reindustrialization and import substitution [In Russian]. Manufacturing, science and education in the era of transformations: Russia in a Globalizing World (PN-VI): Proceedings of the VI International Congress (December 04, 2019, Moscow, Russia). Under the general editorship of S.D. Bodrunov. Moscow: INIR named after S.Y. Witte, Congress of Workers of Education, Science, Culture and Technology (KRON), 2020. pp.133-146.

[6] ***Abdikeev NM, Moreva EL, Bogachev YS, Obolenskaya LV, Dontsova OI, Trifonov PV, Bekulova SR, Tyutyunnik IG.*** Improving the support of sectors of Russian industry: monograph [In Russian]. Moscow: LLC "KnoRus Publishing House", 2022. 250 p.

[7] ***Orlov SYu.*** Prerequisites for the creation of the methodology of reconfigurable production (mechanical engineering) in a competitive environment [In Russian]. National Association of Scientists. 2015; 5-1(10): 98-101.

[8] P 50.1.028-2001 RECOMMENDATIONS FOR STANDARDIZATION. Information technologies for product life cycle support. Methodology of functional modeling [In Russian]. Gosstandart of Russia, 2001.

[9] ***Zhilyaev AA.*** Ontology as a tool for creating open multi-agent resource management systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 261-281. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.

[10] GOST R ISO 18629-1-2010 Industrial automation systems and integration. The language of the process specifications. Part 1. Overview and basic principles [In Russian]. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2010.

[11] ***Mizyun VA.*** Management of production systems and processes [In Russian]. SNC RAS. 2012. 211 p.

[12] ***Koren Y.*** Reconfigurable Manufacturing Systems (University of Michigan), U. Heisel (Universitat Stuttgart) and others // Annals of the CIRP Vol. 48/2/1999, p. 527-540, DOI:10.1016/S0007-8506(07)63232-6.

[13] ***Bellman R.*** Dynamic programming [In Russian]. Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1960. 400 p.

[14] ***Bellman R, Dreyfus S.*** Applied problems of dynamic programming. Moscow: Nauka, 1965. 460 p.

About the author

Tatiana Alexandrovna Pishchukhina, (b. 1978). Associate Professor, Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University (OGU). Graduated from OGU in 2000 with a degree in Automation of technological processes and production, qualification "Engineer". Master's degree in Computer Science and Computer Engineering (2015, OGU). In 2008, she defended her PhD thesis. In 2020, she received the title of Associate Professor. SPIN CODE: 7438-6010, ORCHID: 0000-0001-6458-770X. Author ID (RSCI): 607229. *tpuits@mail.ru.*

Received June 05, 2022. Revised June 17, 2022. Accepted June 24, 2022.

УДК 004.891 Научная статья DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262

Применение миварного подхода при создании систем поддержки принятия решений для сферы государственных услуг

© 2022, А.В. Потапова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В настоящее время идёт активная цифровизация процессов предоставления государственных услуг и исполнения функций государственными органами власти. В сфере государственных услуг поставлена задача их проактивного предоставления, вследствие чего появляется необходимость разработки систем поддержки принятия решений для оказания услуг населению в проактивной форме и их информационного обеспечения. Такие системы должны иметь возможность адаптироваться к изменению законодательства и обладать таким механизмом логического вывода, который мог бы определять государственные услуги, полагающиеся заявителю, на основании ограниченной информации о нём. Цель работы - исследование возможности применения миварного подхода при создании подобных систем поддержки принятия решения. Описана суть миварного подхода как математического аппарата для разработки систем искусственного интеллекта, созданных путём комплексирования продукционного подхода и «сетей Петри». Рассмотрены модели и методы миварного подхода, проведён анализ моделей представления структур данных, а также методов поиска маршрута логического вывода на сети правил. Представлено технологическое и техническое описание системы поддержки принятия решений, основанной на миварном подходе. Предложены этапы построения логической сети гиперправил с мультиактивизаторами, созданной с использованием экспертных систем, и показана её реализация на примере предоставления государственных услуг.

Ключевые слова: *продукционный подход, миварный подход, «сети Петри», миварная логическая сеть, алгоритм логического вывода, экспертная система, государственные услуги.*

Цитирование: *Потапова А.В.* Применение миварного подхода при создании систем поддержки принятия решений для сферы государственных услуг // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.245-262. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262.

Благодарности: автор выражает признательность членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Одним из ключевых направлений реализации федерального проекта «Цифровое государственное управление» является цифровая трансформация национальной системы государственного управления и сферы предоставления государственных (муниципальных) услуг [1]. Неотъемлемой составляющей цифровой трансформации сферы предоставления государственных услуг (ГУ) является проактивность. Внедрение проактивного подхода в процессы предоставления населению услуг предполагает заблаговременное уведомление граждан (организаций) о возможности получения услуги. Под проактивными понимаются услуги, предоставление которых инициируется в автоматическом режиме без участия заявителя на основании сведений, содержащихся в государственных и иных информационных системах.

В настоящее время ведётся разработка методики перевода оказания ГУ в проактивный режим, создание «умного» помощника. При разработке методики в качестве инструмента проактивности было предложено использование экспертных систем (ЭС) в системах под-

держки принятия решений (СППР) для информирования граждан о полагающихся ГУ [2]. В статье представлены результаты исследования возможности применения миварного подхода при создании СППР в сфере предоставления ГУ.

1 Модели и методы миварного подхода

Системы с использованием миварных технологий разработаны в таких областях как медицина, логистика, инженерия, строительство и др. [3, 4]. Так, проект для оценки сложности текстов [5] может быть использован для составления автоматизированных учебных пособий, а проект миварной ЭС для оценки объёма большого графа [6] позволяет формализовать задачи принятия решений и обработки информации в области оценки объёма графа в зависимости от его представления.

В создании интеллектуальных СППР с использованием миварного подхода можно выделить следующие модели и методы логической обработки данных.

Миварный подход является обобщением и развитием продукционного подхода, сетей Петри и других формализмов, применяемых для логической обработки данных [3-6].

Продукции в общем виде записывают в форме «Если..., то...». В такой форме можно представлять самые разнообразные правила, процедуры, формулы или сервисы.

Схемы выводов, лежащие в основе большого количества моделей достоверных рассуждений, могут быть описаны в виде некоторого дерева вывода [7]. Вершинам этого дерева соответствуют определённые утверждения F_i, а дуги определяют порядок получения новых утверждений (рисунок 1).

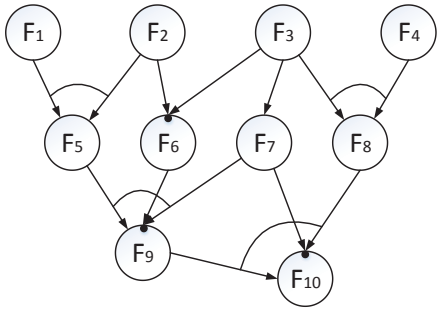


Рисунок 1 - Пример однодольного ориентированного графа "И-ИЛИ дерева"

F_1-F_4 – утверждения начального яруса, истинность которых задаётся извне. Дуги, которые сходятся в зачернённые точки, образуют конъюнктивные условия вывода, а дуги, которые между собой соединены «дужкой», образуют дизъюнктивные условия вывода. Так, например, любого из утверждений F_1 и F_2 достаточно для доказанности F_5 (логическое «ИЛИ»). Если же доказаны F_2 и F_3, то F_6 следует из их доказанности (логическое «И»). Дерево вывода с такими условиями переходов от вершины к вершине называется И-ИЛИ деревом, ориентация дуг в котором показывает направление вывода. Количество ярусов отражает глубину вывода (число шагов, необходимых для получения утверждений данного яруса).

Методы логического вывода И-ИЛИ дерева: м*етод прямой волны*, в котором волна поиска путей к целевым утверждениям распространяется от начальных; м*етод обратной волны,* где поиск от целевых площадок движется в направлении начальных. Различие между прямой и обратной волнами заключается в различном числе шагов при поиске логического вывода. Любой вывод носит переборный характер, что означает факториальный рост вычислительной сложности при увеличении количества правил.

Сети правил и процедур целесообразнее представлять в виде двудольных графов, получая нечто аналогичное *сетям Петри*. Граф называется двудольным, если множество его вершин может быть разбито на два непересекающихся подмножества [8] таким образом, что концы каждого ребра принадлежат разным классам [9]. Сеть Петри есть мультиграф, так как он допускает существование кратных дуг от одной вершины графа к другой. Так как дуги являются направленными, то это ориентированный мультиграф [10, 11].

Подход к единому представлению знаний и данных, при котором можно использовать и двудольные, и трёхдольные, и многодольные (k -дольные) графы для разных ПрО, называется *миварным* [12].

Адаптивный механизм логического вывода миварной логической сети строится на активной эволюционной сети гиперправил с мультиактивизаторами (ГПМ). Формируется логическая сеть ГПМ, на основе которой строится двудольный ориентированный граф, и на этом графе формируется подграф логического вывода [13]. На полученном подграфе выполняется поиск маршрута логического вывода путём анализа его связности.

Существуют следующие методы поиска маршрута на логической сети правил: метод поиска минимального разреза многополюсных сетей, который сводится к формированию нижнетреугольной матрицы и нахождению в ней минимального разреза; линейный матричный метод позволяет определить возможные маршруты логического вывода в матрице миварной сети и выбрать оптимальный [14].

2 Технология создания СППР, основанной на миварном подходе

Создаваемая СППР включает следующие функции: хранение любой информации с возможным изменением структуры системы логического вывода без ограничений по объёму и формам представления; автоматическое конструирование алгоритмов из модулей, сервисов или процедур на основе активной обучаемой эволюционной миварной сети правил.

2.1 Формирование информационной модели предметной области

Для создания интерфейса СППР использовалось программное обеспечение *Delphi2009*, все данные баз данных (БД) СППР хранятся на *PostgreSQL*-сервере.

Для описания модели данных в миварном информационном пространстве используется онтология (объекты-свойства-отношения) предметной области (ПрО) [15].

Для формирования информационной модели ПрО на уровне *PostgreSQL*-сервера были созданы БД, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – БД для хранения данных ПрО

Таблица БД	Назначение	Логический уровень	Оси миварного пространства
dir.ot_grp	Группы типов объектов		Объекты
dir.ot_list	Множество типов объектов	Заголовки таблиц	
dir.prop_grp	Группы свойств типов объектов		Свойства
dir.prop_list	Множество свойств типов объектов	Заголовки столбцов	
ws.obj_tree	Объекты (значения типов объектов в дереве объектов)	Заголовки строк, клетки таблицы	Отношения
ws.obj_props	Свойства (значения свойств объектов в дереве объектов)	Заголовки строк, клетки таблицы	
dir.dir_tree	Объекты-справочники (значения типов объектов-справочников в дереве объектов-справочников)	Заголовки строк, клетки таблицы	
dir.dir_props	Свойства объектов-справочников (значения свойств объектов-справочников в дереве объектов-справочников)	Заголовки строк, клетки таблицы	

Логический уровень показывает соответствие таблиц множествам трёхмерного миварного пространства унифицированного представления данных [16]. Группы типов объектов и группы свойств формируются для удобства восприятия ПрО. Объекты условно разделены на объекты и объекты-справочники. Совокупность объектов в информационной базе представ-

ляет собой иерархическое дерево объектов. На физическом уровне заголовки таблиц, как и заголовки столбцов, представлены одной таблицей, в которых создаются перечни всех возможных объектов и свойств. Отношения между объектами (объект-родитель – дочерний объект) и между объектами и свойствами (объект – его свойства) представлены четырьмя таблицами. В эти же таблицы вносятся значения объектов и их свойств в конкретной точке миварного пространства [18].

2.2 Построение миварной логической сети гиперправил

Основную сложность при использовании ЭС составляет концептуальное, продукционное *описание ПрО* и формирование списков объектов и правил для миварных логических сетей.

Множество типов объектов (объекты и объекты-справочники) информационной модели БД могут использоваться в качестве выходных (распознаваемых) *объектов логической сети ГПМ – миварной сети*. В общем виде *гиперправило* представляет собой конструкцию с детерминированной операционной семантикой [16]. В качестве входных объектов миварной сети используются утверждения (таблица 2). Утверждения могут быть напрямую ассоциированы с одним или несколькими свойствами (dir.statements_props) или же связаны со свойствами или объектами системы посредством ГПМ.

Таблица 2 – БД для хранения утверждений

Таблица БД	Назначение
dir.statements_grp	Группы утверждений (группировка множества утверждений)
dir.statements_list	Множество утверждений
dir.statements_props	Множество свойств, ассоциируемых с данным утверждением

При разработке механизма обработки данных с помощью логической сети ГПМ использовались ЭС, для обучения которых были использованы нейронная сеть Хопфилда и Байесовский классификатор [18]. Изначально ЭС создавались как сложные многоуровневые системы с целью использования одной ЭС для распознавания множества объектов. Но впоследствии были упрощены до системы, распознающий один объект, и объединены в сеть [19]. ЭС предполагалось использовать в процессах поддержки принятия решений в системах административного управления [20], в частности при предоставлении ГУ в электронном виде. Здесь ГПМ – ЭС, а логическая сеть ГПМ – сеть ЭС.

Сеть ЭС – ориентированный ациклический граф, включающий в себя односвязный список рёбер (связей) между узлами сети ЭС. Роль *узла* сети выполняют непосредственно ЭС и виртуальные ЭС. *Виртуальная ЭС* – специализированный узел сети ЭС, выполняющий формирование списков выводимых (принятых) и невыводимых (отвергнутых) переменных.

В сети ЭС всегда должны присутствовать виртуальные ЭС и быть «последними» в топологии сети ЭС. Структура сети ЭС представлена на рисунке 2.

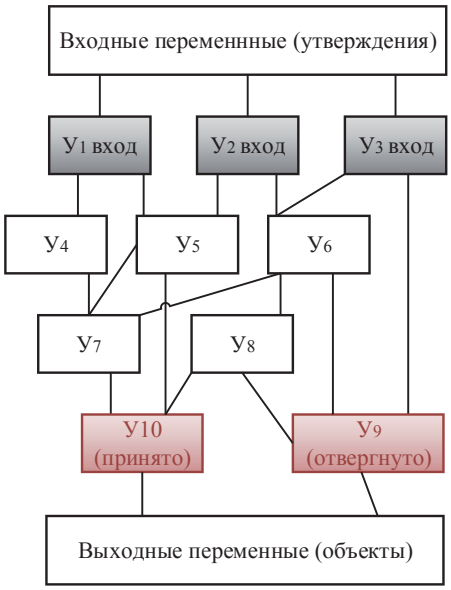


Рисунок 2 – Структура сети ЭС

Алгоритм логико-вычислительной обработки утверждений в сети ЭС представлен на рисунке 3.

1) На вход подаётся список входных переменных в виде утверждений.

2) Работа логической сети ГПМ начинается с обработки правил входных узлов. Таких узлов может быть несколько. Гиперправила работают таким образом, что в результате утверждения преобразуются в объекты.
3) Если после обработки входных узлов выводимые переменные найдены, то выполняется шаг 6. Если нет, то шаг 4. *Примечание*. Выводимая переменная может одновременно быть промежуточной, т.е. может быть использована и в других правилах.
4) Проверяется, является ли найденная переменная промежуточной. Если да, то переход к шагу 5. Если нет, то переменная является невыводимой и далее выполняется шаг 7.
5) Происходит обработка промежуточных правил сети, после чего повторяются шаги 3-4 до тех пор, пока не будут обработаны все запускаемые правила на каждом входе в сеть.
6) Найденные переменные помещается в список выводимых (принятых).
7) Обнаруженные переменные помещаются в список невыводимых (отвергнутых).

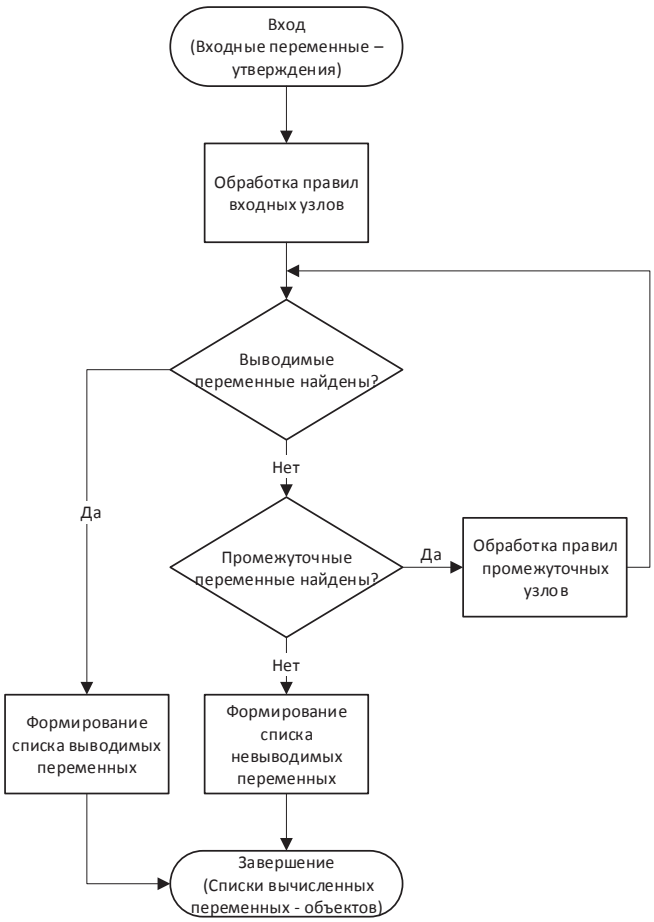


Рисунок 3 – Алгоритм логико-вычислительной обработки утверждений в сети ЭС

Представленный алгоритм логико-вычислительной обработки сети ЭС обладает линейной вычислительной сложностью логического вывода, управляемого потоком входных данных.

2.3 Техническая реализация СППР

Когда новая сеть ЭС сформирована, необходимо настроить механизм, с помощью которого сеть ЭС будет получать и обрабатывать данные. Для этого необходим *менеджер сети ЭС* – программный объект, обеспечивающий работу сети ЭС. С помощью *специализирован-*

ного внешнего приложения поступают задания для сети ЭС (рисунок 5). *Задание для сети ЭС* – сформированное пространство данных для сети ЭС.

Общее решение состоит из БД Системы, включающей сформированные сети ЭС и задания для них; приложения, обеспечивающего функционирование сети ЭС в бесперебойном режиме (см. рисунок 4). *Прикладное решение* – это внешнее приложение, которое формирует задания для сети ЭС.

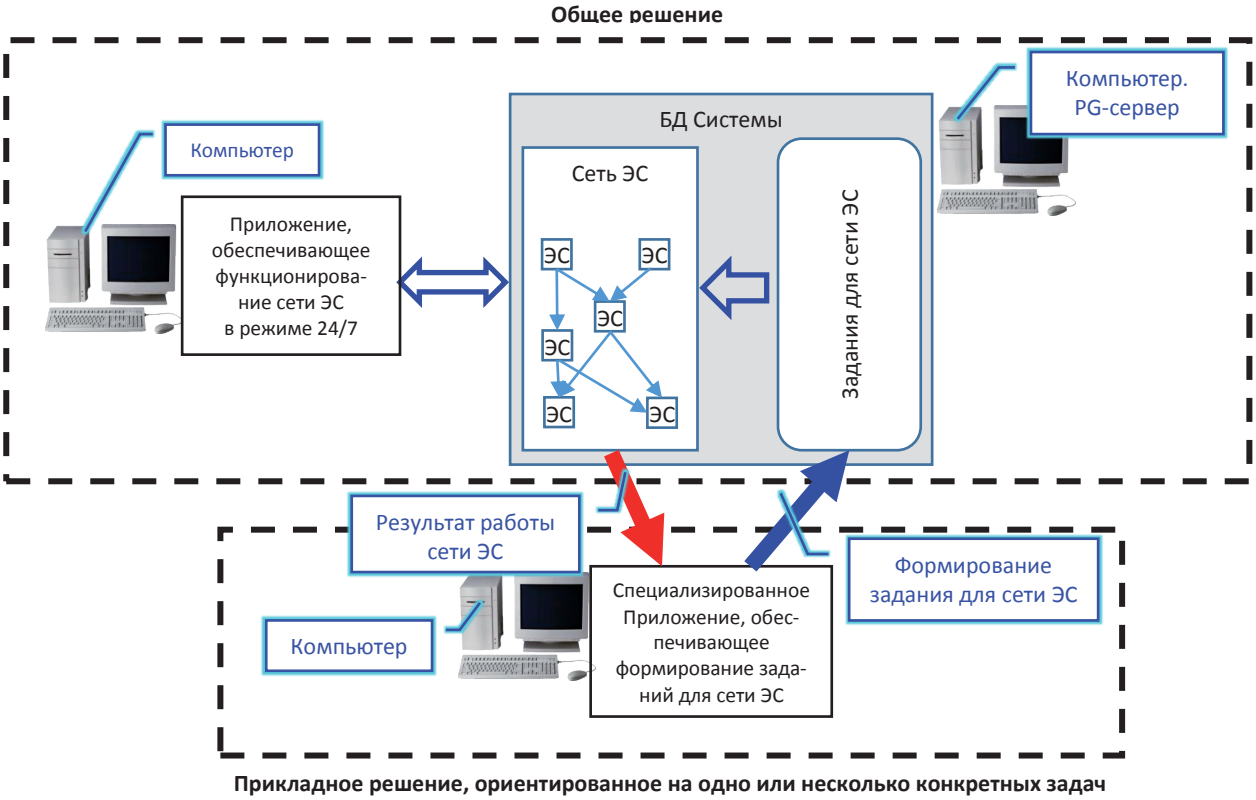


Рисунок 4 – Техническая реализация работы внешнего приложения с СППР

На рисунке 5 описан сценарий работы внешнего приложения с сетью ЭС.

Полученные из внешнего приложения данные должны быть ассоциированы с задачей, к которой привязана сеть ЭС. *Задача для сети ЭС* содержит информацию о конкретной сети ЭС, в контексте которой должны формироваться соответствующие задания для обработки данных сетью ЭС и сами данные.

В контексте задачи создаётся сессия для работы с сетью ЭС. *Сессия (сеанс)* – цикл операций, выполняемый непрерывно и обеспечивающий обработку соответствующих данных сетью ЭС в контексте задачи для сети ЭС.

Данные поступают в форме информационного пакета. *Информационный пакет* (ИП) - блок данных, которые должны быть обработаны сетью ЭС в рамках сессии. Для каждого элемента ИП выполняется приведение элемента данных к значению соответствующего утверждения. Приведённый к списку утверждений ИП активирует сессию и начинается обработка данных сетью. ЭС. После окончания обработки данных сетью ЭС происходит разъединение с БД СППР и выполняется обработка полученных результатов.

Нет концептуальных ограничений на: количество внешних приложений, работающих с ЭС; количество и тип решаемых внешними приложениями задач; количество создаваемых ЭС и их сетей; количество ЭС, используемых в любой сети ЭС. Сеть ЭС автоматически «подстраивается» под решаемую внешним приложением задачу.

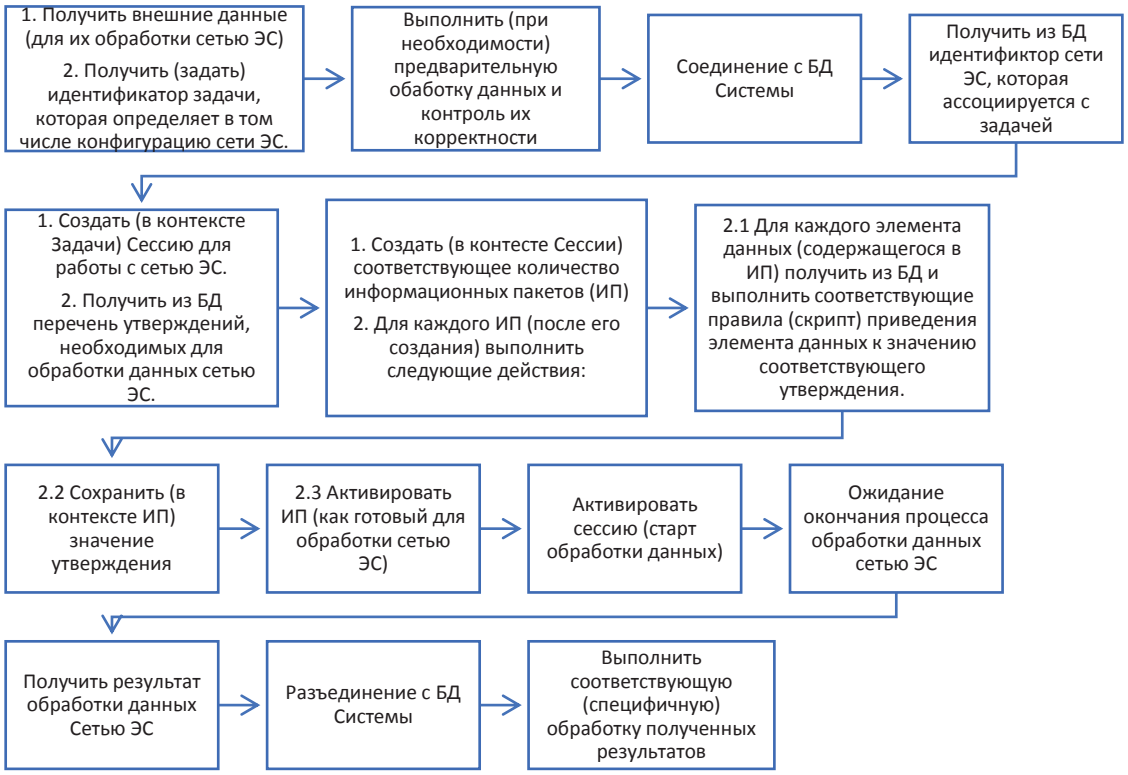


Рисунок 5 - Сценарий работы внешнего приложения с сетью ЭС.

При возникновении новых задач существующие сети ЭС в СППР могут быть применимы к новой задаче, равно как и существующие ЭС могут использоваться при создании новой сети ЭС. При необходимости можно изменить существующую конфигурацию сети и перенастроить граф без перепрограммирования СППР в целом.

3 Этапы создание сети ЭС в СППР

На этапе 1 проводится анализ ПрО, определяется структура пространства данных и возможность построения модели ПрО на основе подхода «объект-свойство-отношение».

На этапе 2 создаётся информационная модель ПрО на основе метаданных Системы. Метаданные ИС = «Множество типов объектов» + «Множество свойств» + «Перечень видов свойств».

На этапе 3 создаются утверждения для предполагаемых ЭС, которые должны быть соотнесены со свойствами, характеризующими объект.

На этапе 4 создаётся и проводится обучение необходимого количества ЭС, которое полностью описывает ПрО. Настройка и обучение ЭС – это создание гиперправил для формирования базы знаний будущей миварной сети.

На этапе 5 происходит создание и настройка графа сети ЭС: определяются исходные ЭС, которые будут являться входными узлами сети; настраиваются связи между ЭС внутри сети.

На этапе 6 для формирования пространства данных сети ЭС создаётся конкретная задача и проводится привязка её к созданной сети. Данные по каждой задаче показывают количество сессий, в ходе которых поступают ИП с данными, ассоциированными в виде утверждений.

На этапе 7 проводится тестирование сети ЭС. Вывод результатов осуществляется в доступной для понимания пользователя форме.

4 Реализация СППР на примере оказания государственных услуг

Этап 1. В настоящее время ГУ в электронном виде могут предоставляться с помощью портала ГУ Санкт-Петербурга. Межведомственное взаимодействие, необходимое для оказания ГУ (включая согласования, получение выписок, справок и др.), должно проходить без участия заявителя [21]. В сфере предоставления ГУ поставлена задача разработки механизма их проактивных рекомендаций на основе ограниченной информации, имеющейся о заявителе. Можно выделить следующие особенности оказания ГУ населению.

- Существуют услуги, которые могут предоставляться разным категориям заявителей или даже объединять категории. Например, существует услуга, которая объединяет условия многодетности и малообеспеченности и предоставляется только при совпадении этих условий.
- Существуют услуги, которые относящиеся к разным жизненным ситуациям (ЖС), и предоставляются широкому кругу заявителей. Например, существуют услуги, предоставляемые как малообеспеченным, так и семьям, в которых ребёнок нуждается в специальных молочных продуктах, независимо от их дохода.
- Обеспечение проактивного оповещения граждан о полагающихся им услугам происходит на основе истории получения услуг посредством Многофункционального центра (МФЦ) и Портала ГУ, то есть механизм оповещения запускается на основе результатов получения услуг. Признаком, характеризующим наступление той или иной ЖС, может быть не только услуга, по которой принято решение, но и информация, которая вносится в профиль заявителем лично и проверяется путём межведомственного взаимодействия.

Миварное пространство M_x рассматриваемой ПрО можно представить как трёхмерное пространство: $M_x = S_x \times C_x \times R_x$, где S_x – множество ГУ, C_x – множество критериев для получения ГУ, R_x – множество ролей заявителей ГУ.

Услуга может являться и объектом, и свойством в зависимости от контекста. Множество входов в сети ЭС позволяет распознавать выходные объекты параллельно по различным направлениям, применительно к ГУ, по таким условиям, для которых не существует единой классификации и невозможно составить однодольный граф.

Этап 2. Наиболее востребованные ГУ классифицированы по ЖС, в рамках которых они могут быть предоставлены. Для формирования информационной базы ПрО были выбраны 13 услуг по ЖС «Рождение ребенка».

В структуре дерева объектов созданы объекты ГУ и помещены в группу «Перечень ГУ» (рисунок 6) и перечень заявителей, которые помещены в группу «Категории заявителей/получателей» (рисунок 7).

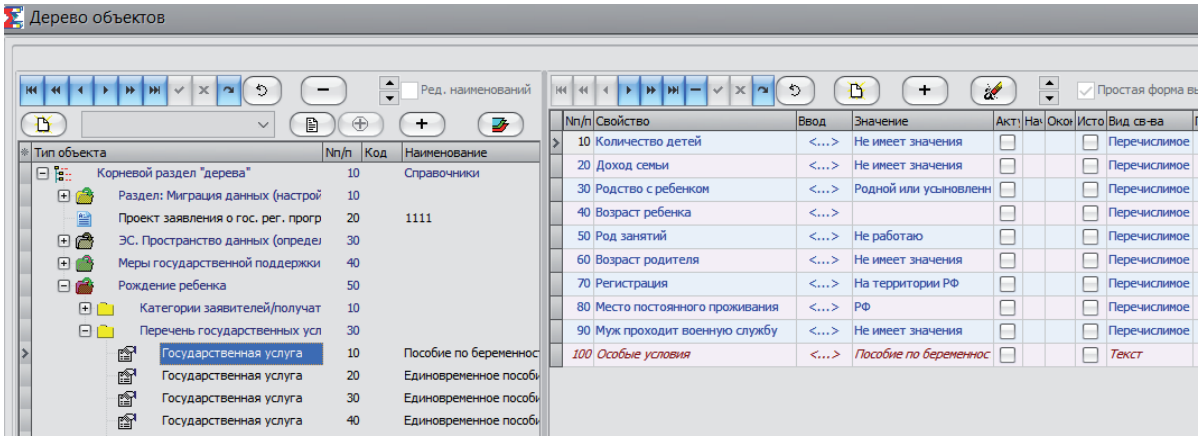


Рисунок 6 – Описание объектов-справочников перечня государственных услуг

Для объектов ГУ созданы свойства типа «Перечислимое» и свойства типа «Текст», которые являются своего рода критериями для получения услуги. Для перечислимых свойств выбирались те значения, которые имеют место для конкретной услуги, такие как количество детей, доход, место проживания и другие.

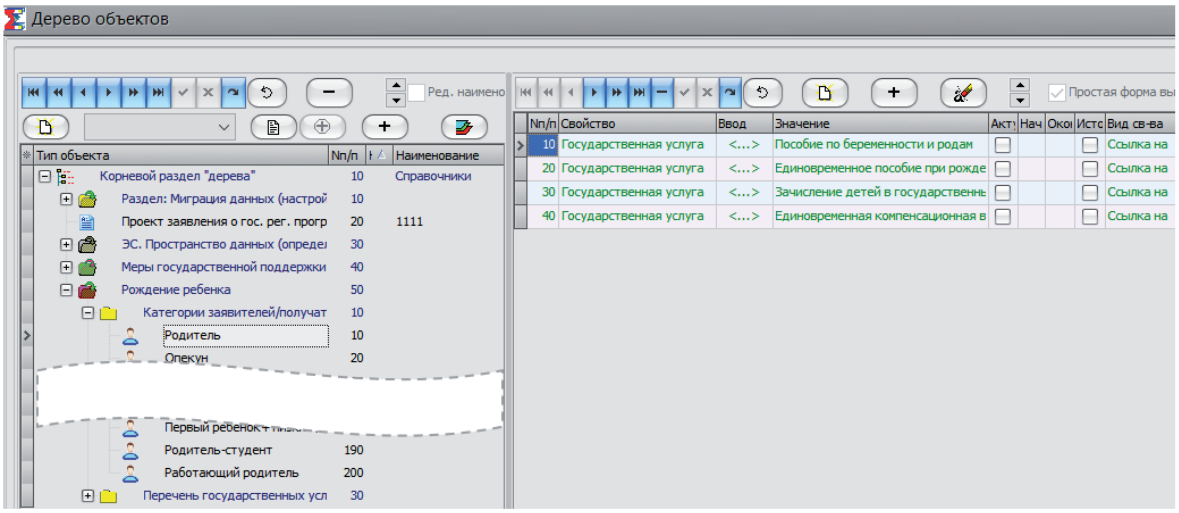


Рисунок 7 – Описание объектов категорий пользователей

В качестве категорий заявителей созданы такие типы как родитель, опекун, многодетная семья, студенческая семья и др. Им были присвоены свойства в виде пакета/набора услуг, на которые может претендовать заявитель. Свойства созданы типа «Ссылка на объект», что позволяет выбрать из перечня ГУ необходимые и привязать к заявителю.

Этап 3. Создание ЭС начинается с настройки множества утверждений (рисунок 8). Утверждения (для удобства) сгруппированы и представлены в виде вопросов закрытого типа.

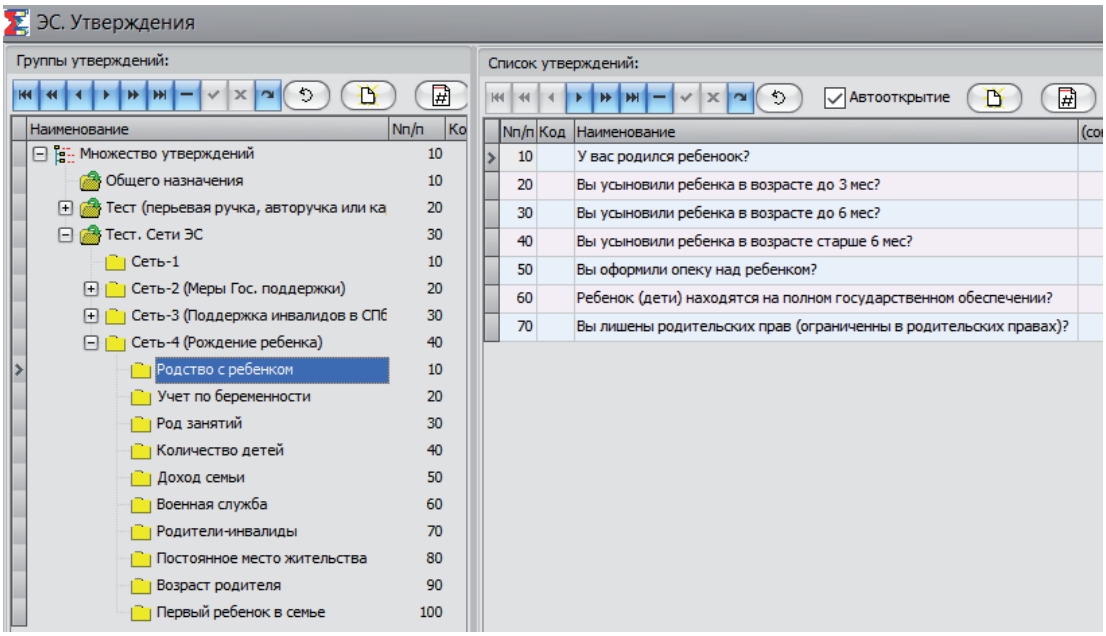


Рисунок 8 – Создание множества утверждений

Перечень утверждений в каждой конкретной группе ориентирован для использования в одной конкретной ЭС, которая будет являться узлом сети ЭС.

Этап 4. Созданы и обучены ЭС для сети ЭС, с помощью которых можно распознать любую из ГУ, входящих в рассматриваемую ЖС «Рождение ребёнка» (рисунок 9).

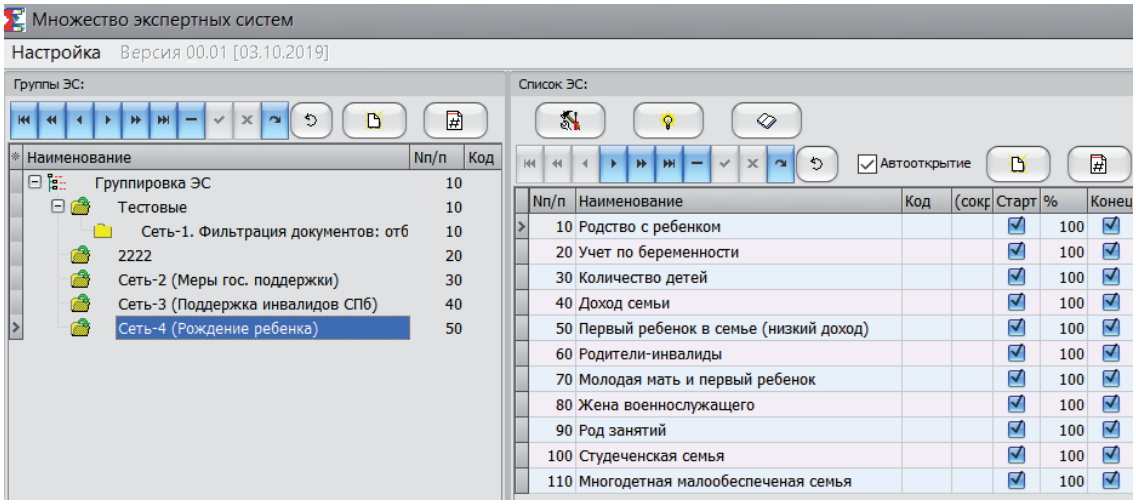


Рисунок 9 – Список ЭС в ЖС «Рождение ребёнка»

Формирование и настройка ЭС происходит следующим образом: узлы для распознавания выбираются из списка имеющихся объектов; признаки для распознавания выбираются из множества утверждений; настраивается список определяющих признаков для распознавания выбранного узла (рисунок 10).

Для перехода к обучению ЭС необходимо в режиме ввода задать для ЭС правила, а в режиме консультации - подать задание на распознавание (рисунок 11).

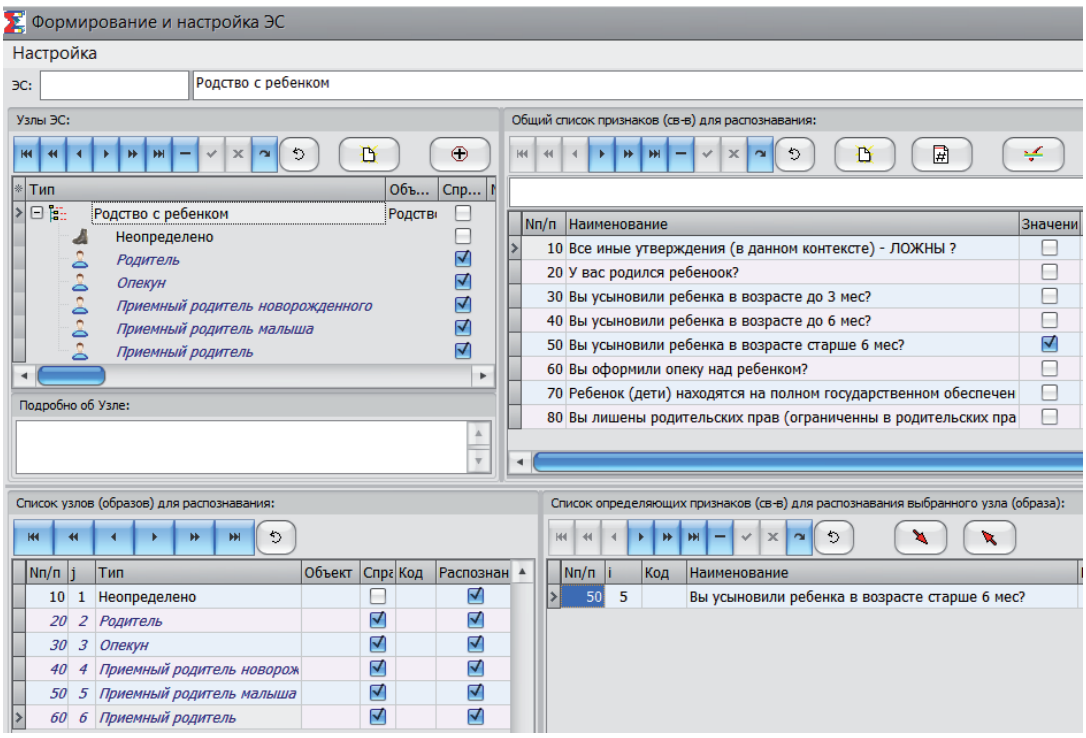


Рисунок 10– Настройка ЭС

Внизу окна программы для каждого узла *j* (заявителя) определяется соответствующий ему признак *i* (утверждение). Эффективность обучения 100% была достигнута за 13 циклов.

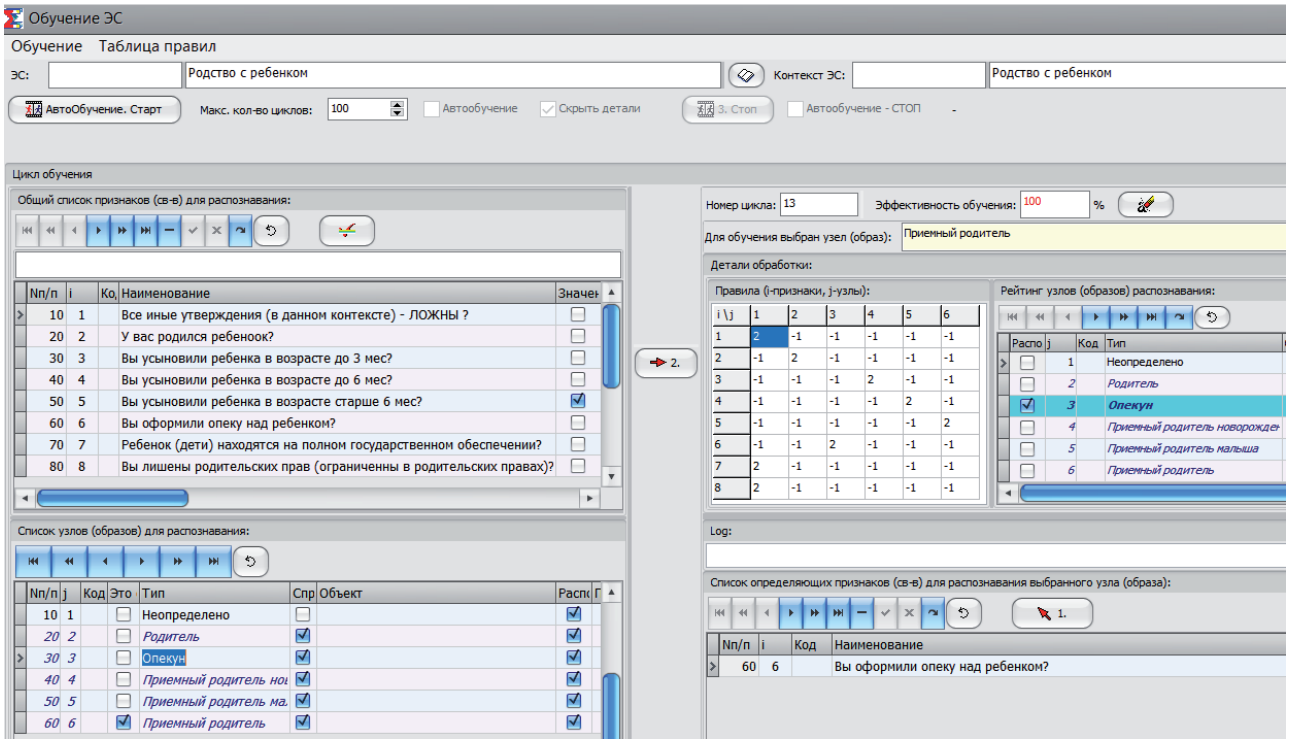


Рисунок 11 – Обучение ЭС

По завершении обучения ЭС формируется матрица правил ЭС, которая состоит из i признаков и j узлов (рисунок 12). Эта матрица в дальнейшем используется ЭС для распознавания объектов.

Матрица правил интерпретируется таким образом, что наивысший рейтинг в каждой строке матрицы определяет соотношение узлов и признаков. Так для признака $i = 6$ наивысший рейтинг определяется на узле $j = 3$. То есть утверждение (признак) под пунктом 6 «Вы оформили опеку над ребенком?» соответствует заявителю (узлу) под пунктом 3 «Опекун».

Правила (i-признаки, j-узлы):

i \ j	1	2	3	4	5	6
1	2	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	2	-1	-1	-1	-1
3	-1	-1	-1	2	-1	-1
4	-1	-1	-1	-1	2	-1
5	-1	-1	-1	-1	-1	2
6	-1	-1	2	-1	-1	-1
7	2	-1	-1	-1	-1	-1
8	2	-1	-1	-1	-1	-1

Рисунок 12 – Матрица правил ЭС

Этап 5. После того как созданы все ЭС, которые будут использоваться в сети, осуществляется создание и настройка сети ЭС (см. рисунок 13).

В списке ЭС новой сети по умолчанию появляются две сети: «Сеть ЭС. Монитор. Отвергнутые» и «Сеть ЭС. Монитор. Принятые». Созданные ЭС добавлены в список сети и определены исходные. В данном случае начальными ЭС выбраны «Родство с ребенком», «Доход семьи» и «Родители-инвалиды».

Для каждой ЭС, включённой в список сети, необходимо открыть список узлов и исходящих связей для настройки графа сети ЭС (рисунок 14).

Когда все необходимые связи настроены, можно открыть визуальное представление графа сформированной сети ЭС (рисунок 15).

Этап 6. После того, когда новая сеть ЭС сформирована, необходимо настроить механизм, с помощью которого сеть ЭС будет получать и обрабатывать данные пользователей.

Для того, чтобы создать пространство данных для сети ЭС, необходимо создать новую задачу и привязать её к сети ЭС (рисунок 16).

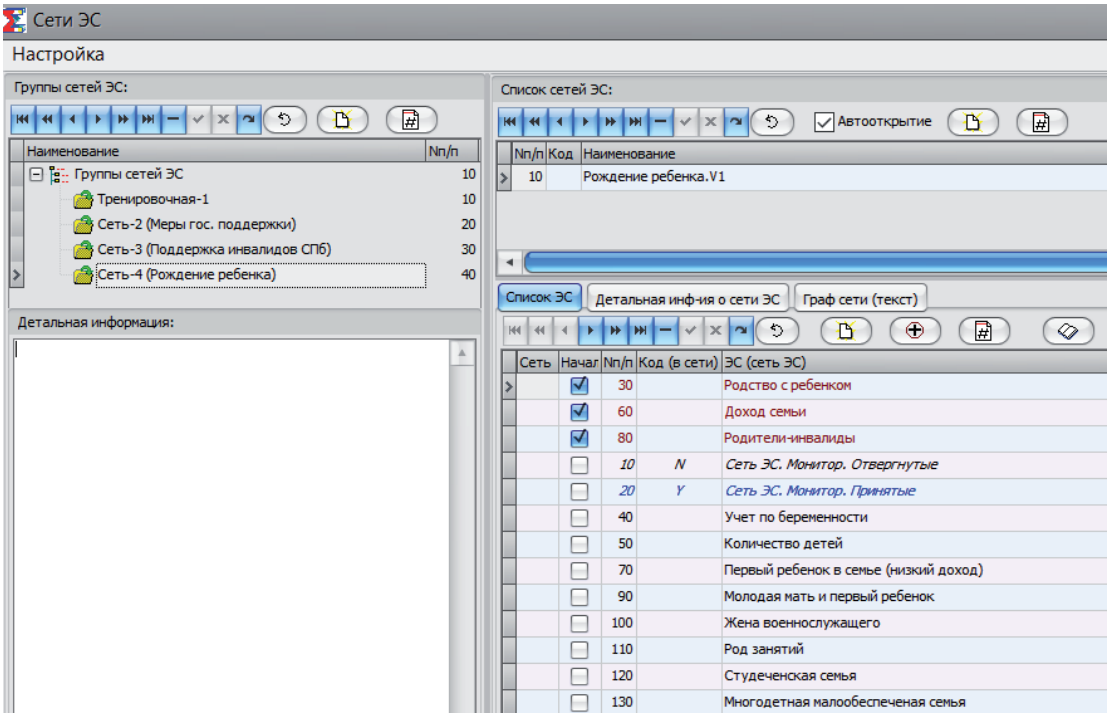


Рисунок 13 – Список сетей ЭС и входящие в нее ЭС

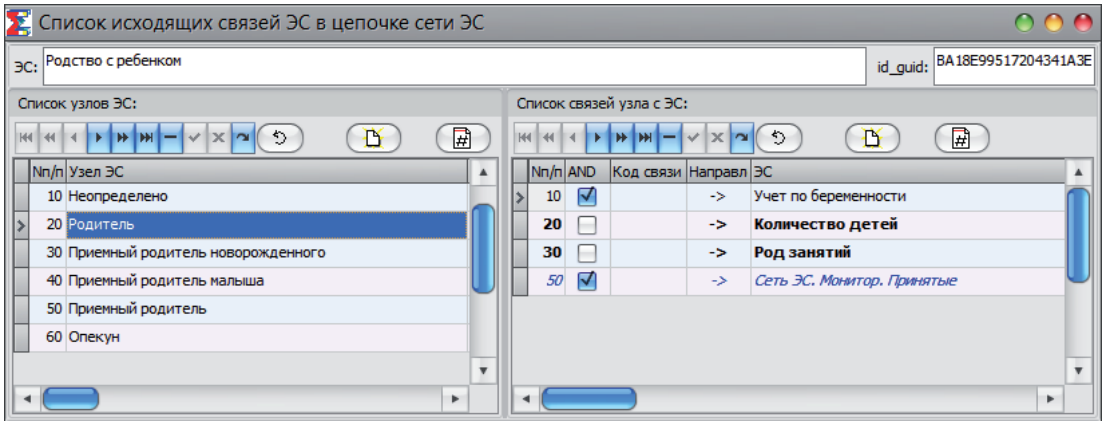


Рисунок 14 – Настройка связей в сети ЭС. Формирование графа

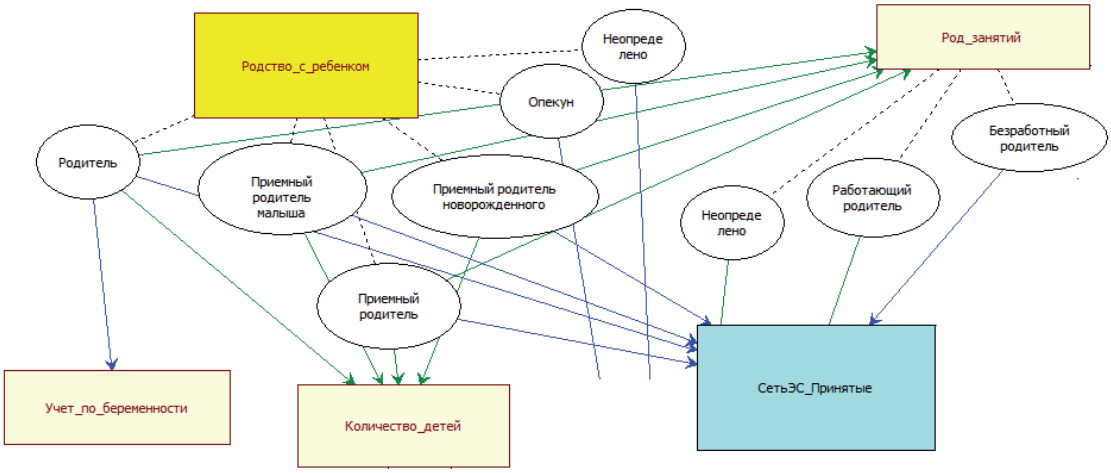


Рисунок 15 – Фрагмент графа сформированной сети ЭС

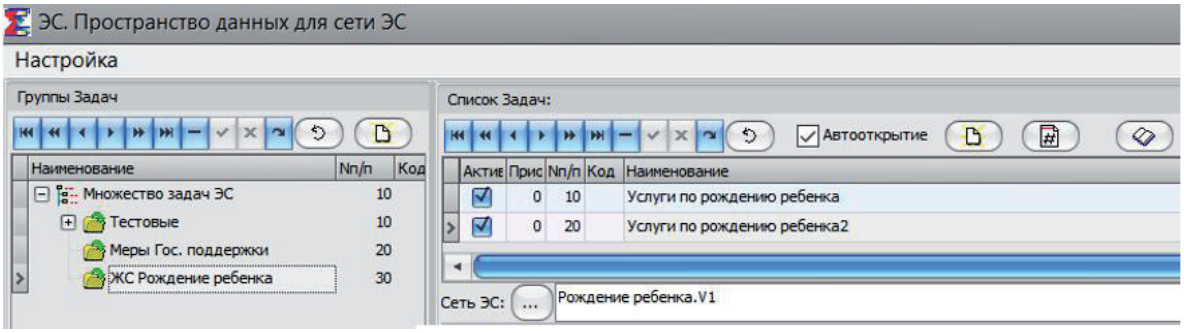


Рисунок 16 – Добавление новой задачи для сети ЭС

Когда задача к сети ЭС создана, можно сформировать анкету с вопросами. Анкета формируется автоматически, а её разделы соответствуют ЭС, входящим в сеть ЭС, привязанную к задаче. То есть, наименования разделов анкеты идентичны наименованиям ЭС, а вопросы идентичны утверждениям данной ЭС (рисунок 17).

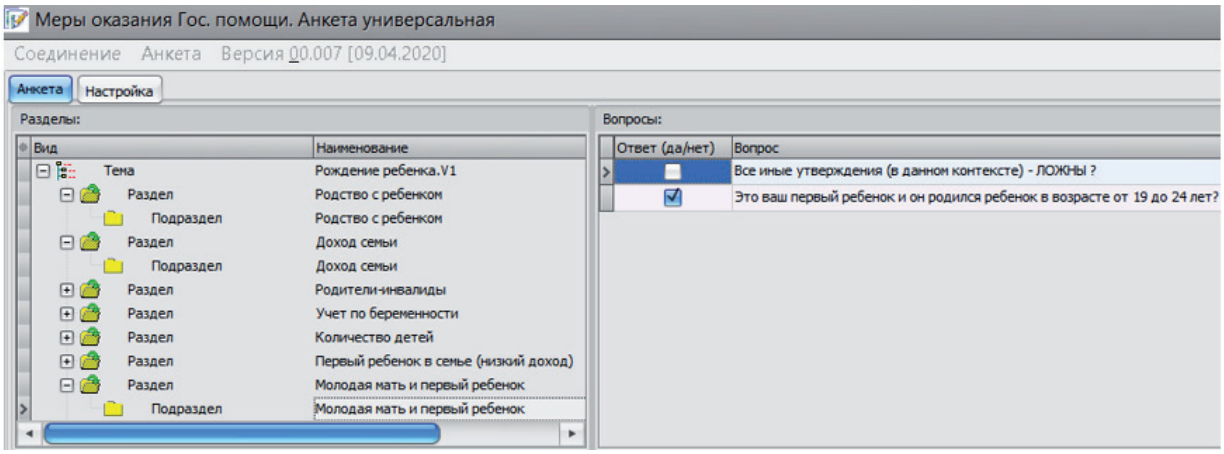


Рисунок 17 – Формирование вопросов анкеты по задаче к сети ЭС

Данные по задаче, поступавшие с помощью приложения, отображаются в окне «ЭС. Формирование пространства данных для сети ЭС» (рисунок 18).

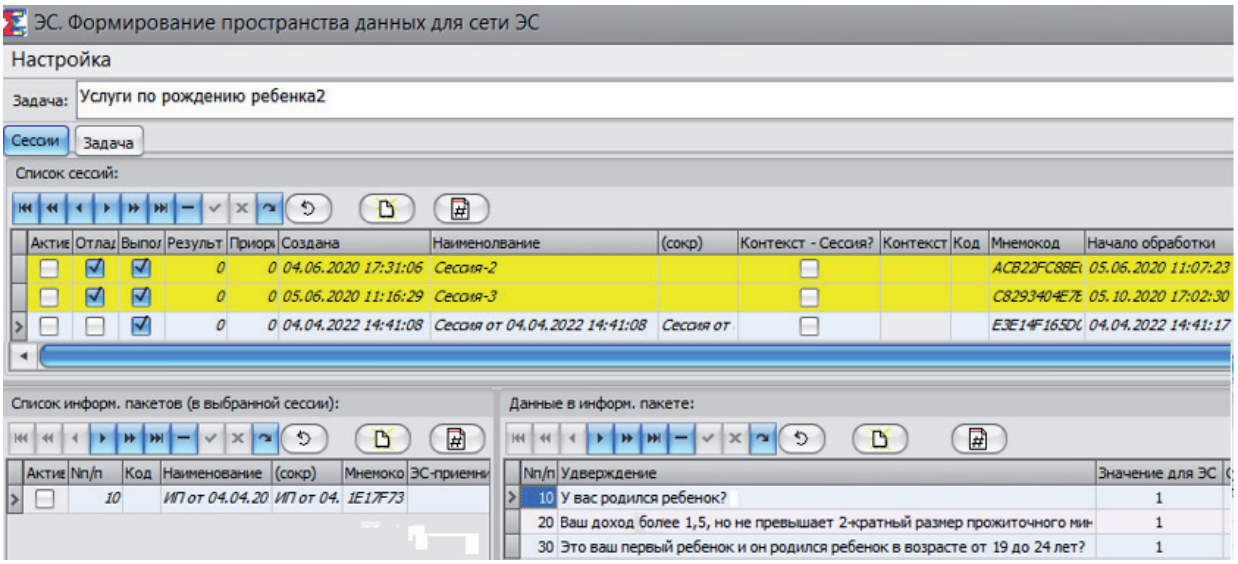


Рисунок 18 – Настройка пространства данных для конкретной задачи

ИП по Сессии-2 и Сессии-3 были созданы вручную и отмечены как отладочные. Данные по Сессии-3 поступили с помощью приложения-анкеты. На рисунке 18 раскрыты данные по этой сессии. В левом нижнем углу окна программы показаны ИП в рамках сессии, в правом нижнем углу окна – данные, входящие в ИП. Значение «1» для ЭС означает, что утверждения истинны.

Этап 7. Обработка и вывод полученных результатов. На рисунке 19 показан фрагмент окна приложения-анкеты со списком ГУ, полагающихся заявителю.

В анкете выбрано несколько утверждений, по которым сеть ЭС определила две категории заявителей с полагающимися им ГУ. По категории «Родитель» заявитель имеет право на четыре указанные ГУ, и по категории «Молодая мать» он может получить ещё одну ГУ.

Скрипт вывода результата в приложении настроен таким образом, что в контексте объектной модели системы выводятся объекты слева (категории заявителей) с их свойствами справа (ГУ).

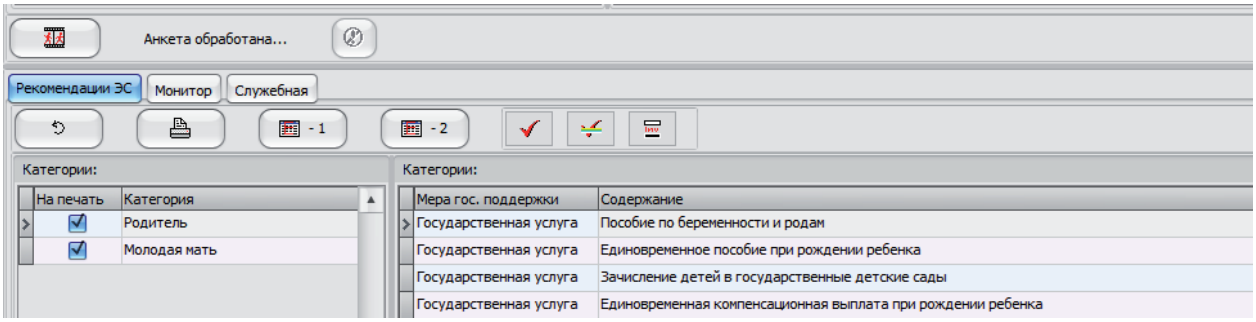


Рисунок 19 – Вывод результатов

Заключение

Рассмотрены модели и метод миварного подхода с целью применения их при создании СППР в сфере предоставления ГУ. Показаны технологическая и техническая реализации миварного подхода для создания СППР, которая позволила создать модель ПрО по типу «Объект-Свойство-Отношение». В систему встроен функционал по созданию и обучению ЭС и формированию сетей ЭС с использованием теории графов. Сети ЭС представляют собой механизм логической обработки информации, созданный на основе активной обучаемой эволюционной миварной сети правил с линейной вычислительной сложностью логического вывода, управляемого потоком входных данных.

В работе рассмотрены особенности оказания ГУ населению, построена структура многомерного миварного пространства данной ПрО и на примере показано применение сетей ЭС для решения задачи проактивного предоставления ГУ населению.

Список источников

[1] Паспорт федерального проекта «Цифровое государственное управление» (утвержден Президиумом правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для повышения качества жизни и условий ведения бизнеса, протокол от 28.05.2019 № 9).

[2] ***Tibilova G.S. Ovcharenko A.V., Potapova A.V.*** Proactivity and Subsidiarity as the Basic Principles of Digital Transformation of State Interaction with Citizens and Businesses. Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. V.95. P.544-553.

[3] ***Варламов О.О.*** Обзор 18 миварных экспертных систем, созданных на основе MOGAN. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 3 (101).

[4] ***Павлова Д.А.*** Миварные технологии. Применение миварных экспертных систем для решения практических задач. Современные наукоёмкие технологии. 2016. № 5 (часть 1). С.62-65.

[5] ***Адамова Л.Е.***, ***Сурикова О.В., Булатова И.Г., Варламов О.О***. Применение миварной экспертной системы для оценки сложности текстов. Известия Кабардино-Балкарского НЦ РАН. 2021. № 2(100). С.11-29.
[6] ***Лещев А.О., Лясковский М.А., Мельников К.И.*** Оценка применимости векторного представления рёбер графа с целью уменьшения информационного объёма графа. Наука без границ. 2020. № 6 (46). С.67-73. https://nauka-bez-granic. ru/№-6-46-2020/6-46-2020/.
[7] ***Поспелов Д.А.*** Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989. 184 с.
[8] ***Кук Д., Бейз Г.*** Компьютерная математика: Пер. с англ. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 384 с.
[9] ***Кузнецов О.П.*** Дискретная математика для инженера. 6-е изд., стер. СПб: Изд-во "Лань", 2009. 400 с.
[10] ***Питерсон Дж.,*** Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.
[11] ***Котов В.,*** Сети Петри, М.: Наука, 1984.
[12] ***Варламов О.О.*** Переход от продукций к двудольным миварным сетям и практическая реализация автоматического конструктора алгоритмов, управляемого потоком входных данных и обрабатывающего более трех миллионов правил. Междунар. конф. "Современные проблемы математики, информатики и биоинформатики". 11-14 октября 2011 г. Новосибирск: ЗАО РИЦ "Прайс-курьер", 2011. С.16-46.
[13] ***Sandu R.A.*** A method of processing experimental data on the parameters of physical processes in information-measurement systems based on Mivar logical nets (англ.) Measurement Techniques. 2010-10-01. В. 6. Т.53. С.600-604. ISSN 0543-1972. DOI:10.1007/s11018-010-9548-0.
[14] ***Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов А.В, Потапова Т.С.*** Программный комплекс «УДАВ»: практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил. Труды научно-исследовательского института радио. 2010. Т.1. С. 108-116.
[15] ***Самойлова М.О., Сергушин Г.С., Антонов П.Д., Хадиев А.М.*** Миварные технологии в экспертных системах. Сборник тезисов докладов Национального суперкомпьютерного форума «НСКФ-2015» (г. Переславль-Залесский, 24–27 ноября 2015 г.). URL: http://2015.nscf.ru/nauchno-prakticheskaya-konferenciya/tezisy-dokladov/.
[16] ***Варламов О.О.*** Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 282 с.
[17] ***Потапова А.В***. Сетецентрическое управление в адаптивных информационных системах. Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2020. С. 268-280.
[18] ***Потапова А.В***., ***Тибилова Г.С., Овчаренко А.В.*** Применение экспертных систем в проектировании проактивных государственных услуг. Коммуникативные стратегии информационного общества. Труды XI Международной научно-теоретической конференции. 2019. С.143-152.
[19] ***Potapova A.V***., ***Diachenko N.V., Tibilova G.S., Ovcharenko A.V.*** Designing a Network of Expert Systems for Identifying Recipients of Public Services. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т.184. P.136-148.
[20] ***Волкова В.Н., Ефремов А.А., Логинова А.В., Леонова А.Е.*** Концепция формирования системы поддержки принятия решений в условиях территориально-распределенных баз данных. / В кн.: Труды 2-й Международной конференции IEEE 2017 по управлению в технических системах. CTS 2017.
[21] ***Захаров Ю.Н.*** Типичные ИТ-решения, разработанные в Санкт-Петербурге в процессе реализации государственных функций и услуг. В кн.: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий, материалы II Межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; научное изд. Б. В. Соколов. 2016. С. 35-36.

Сведения об авторе

Потапова Анастасия Викторовна, 1989 г. рождения. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения в 2014 году. Аспирант высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. В списке научных трудов 5 работ в области проектирования адаптивных информационных систем, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. ORCID: 0000-0002-1231-7078; AuthorID (Scopus): 57217734070; AuthorID (РИНЦ): 1145841; *anastasia589@mail.ru.*

Поступила в редакцию 7.04.2022, после рецензирования 2.06.2022. Принята к публикации10.06.2022.

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262

Application of the mivar approach in creation of decision support systems for public services

© 2022, A.V. Potapova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Currently, there is an active digitalization of the processes of providing public services and performing public functions by state authorities. In the field of public services, the task of their proactive provision has been set, as a result of which there is a need to develop decision-making support systems for providing services to the population in a proactive form and their information support. Such systems should be able to adapt to changes in legislation in the provision of public services, and in addition have such a logical inference mechanism that could determine the public services that an applicant is entitled to based on limited information about him. The purpose of the study was to investigate the possibility of using the mivar approach in creating such decision support systems. The essence of the mivar approach as a mathematical tool for the development of artificial intelligence systems created by combining the production approach and "Petri nets" is characterized. The model and methods of the mivar approach are considered, the analysis of models for representing data structures, as well as methods for finding the route of inference on the network of rules, is carried out. A technological and technical description of the decision support system based on the mivar approach is presented. The stages of building a logical network of hyper-rules with multiactivators created using expert systems are proposed, and its implementation is shown on the example of the provision of public services.

Keywords: *production approach, mivar approach, "Petri nets", mivar logical network, logical inference algorithm, expert system, public services.*

Citation: Potapova AV. Application of the mivar approach in creation of decision support systems for public services [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 245-262. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to the members of the editorial board of the journal "Ontology of Designing" for comments and recommendations on improving this article.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Example of a one-sided oriented graph "And-OR tree"
Figure 2 – Structure of the ES network
Figure 3 – Algorithm of logical and computational processing of the ES network
Figure 4 – Technical implementation of the external application with the System
Figure 5 – Scenario of the external application with the ES network
Figure 6 – Description of the reference objects of the list of public services
Figure 7 – Description of objects of user categories
Figure 8 – Creation of a set of statements
Figure 9 – List of ES in the system
Figure 10 – Setting up the ES
Figure 11 – ES Training
Figure 12 – ES rules matrix
Figure 13 – List of ES networks and its ES member
Figure 14 – Setting up connections in the ES network. Graph formation
Figure 15– A fragment of the graph of the formed ES network
Figure 16 – Adding a new task for the ES network
Figure 17 – Formation of questionnaire on the task to the ES network
Figure 18 – Configuring the data space for a specific task
Figure 19 – Output of results

Table 1 – Database tables for storing domain data
Table 2 – Database tables for storing claims

References

[1] Passport of the federal project "Digital Public Administration" [In Russian]. (Approved by the Presidium of the Government Commission on Digital Development, the use of information technologies to improve the quality of life and business conditions, Protocol No. 9 dated 28.05.2019).

[2] ***Tibilova GS, Ovcharenko AV, Potapova AV.*** Proactivity and Subsidiarity as the Basic Principles of Digital Transformation of State Interaction with Citizens and Businesses. Lecture Notes in Networks and Systems. 2020; 95: 544-553.

[3] ***Varlamov OO.*** Review of 18 mivar expert systems created on the basis of MOGAN [In Russian]. Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021; 3(101).

[4] ***Pavlova DA.*** Mivar technologies. Application of mivar expert systems for solving practical problems [In Russian]. Modern high-tech technologies. 2016; 5(Part 1): 62-65.

[5] ***Adamova LE, Surikova OV, Bulatova IG, Varlamov OO.*** Application of the mivar expert system for assessing the complexity of texts [In Russian]. Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021; 2(100): 11-29.

[6] ***Leshchev AO, Lyaskovsky MA, Melnikov KI.*** Evaluation of the applicability of vector representation of graph edges in order to reduce the information volume of the graph [In Russian]. Science without Borders. 2020; 6(46): 67-73. URL: https://nauka-bez-granic . ru/№-6-46-2020/6-46-2020/.

[7] ***Pospelov DA.*** Modeling of reasoning. The experience of analyzing mental acts [In Russian]. Moscow: Radio and Communications, 1989. 184 p.

[8] ***Cook D, Baze G.*** Computer mathematics [In Russian]. Translated from English. Moscow: Nauka, Gl. ed. phys.-mat. lit., 1990. 384 p.

[9] ***Kuznetsov OP.*** Discrete mathematics for an engineer [In Russian]. 6th ed., erased. St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2009. 400 p.

[10] ***Peterson J***. Petri Net theory and system modeling [In Russian]. Moscow: Mir, 1984.

[11] ***Kotov V.*** Petri Nets [In Russian]. Moscow: Nauka, 1984.

[12] ***Varlamov OO.*** Transition from productions to bipartite mivar networks and practical implementation of an automatic algorithm constructor controlled by the input data flow and processing more than three million rules [In Russian]. International Conference "Modern Problems of Mathematics, Computer Science and Bioinformatics" dedicated to the 100th anniversary of the birth of Corresponding member of the USSR Academy of Sciences A.A. Lyapunov. Russia, Novosibirsk, Akademgorodok, October 11-14, 2011 Novosibirsk: CJSC RIC "Price-courier", 2011. P.16-46.

[13] ***Sandu RA.*** A method of processing experimental data on the parameters of physical processes in information-measurement systems based on Mivar logical nets (англ.) Measurement Techniques. 2010-10-01. 53: 600-604. DOI:10.1007/s11018-010-9548-0.

[14] ***Vladimirov AN, Varlamov OO, Nosov AV, Potapova TS***. Software package "UDAV": practical implementation of an active trainable logical inference with linear computational complexity based on a mivar network of rules [In Russian]. Proceedings of the Radio Research Institute. 2010; 1: 108-116.

[15] ***Samoylova MO, Sergushin GS, Antonov PD, Khadiev AM.*** Mivar technologies in expert systems [In Russian]. Collection of abstracts of the National Supercomputer Forum "NSCF-2015" (Pereslavl-Zalessky, November 24-27, 2015). http://2015.nscf.ru/nauchno-prakticheskaya-konferenciya/tezisy-dokladov /.

[16] ***Varlamov OO.*** Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space [In Russian]. Moscow: Radio and Communications, 2002. 282 p.

[17] ***Potapova AV.*** Network-centric management in adaptive information systems. System analysis in design and management [In Russian]. Collection of scientific papers of the XXIV International scientific and educational-practical conference: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 2020. P.268-280.

[18] ***Potapova AV, Tibilova GS, Ovcharenko AV.*** Application of expert systems in the design of proactive public services [In Russian]. Communication strategies of the information society. Proceedings of the XI International Scientific and Theoretical Conference. 2019. P.143-152.

[19] ***Potapova AV***, ***Diachenko NV, Tibilova GS, Ovcharenko AV***. Designing a Network of Expert Systems for Identifying Recipients of Public Services. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021; 184: 136-148.

[20] ***Volkova VN, Efremov AA, Loginov AV, Leonova AE.*** The concept of forming a decision support system in the conditions of geographically distributed databases [In Russian]. In: Proceedings of the 2nd IEEE 2017 International Conference on Management in Technical Systems. CTS 2017.

[21] ***Zakharov YuN.*** Typical IT solutions developed in St. Petersburg in the process of implementing state functions and services [In Russian]. In the book: promising directions of development of domestic information technologies, materials of the II Interregional scientific and practical conference. Sevastopol State University; scientific ed. B.V. Sokolov. 2016. P.35-36.

About the author

Anastasia Victorovna Potapova (b. 1989) graduated from St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation in 2014. Postgraduate student of the Higher School of Cyberphysical Systems and Management of Peter the Great St. Petersburg PolytechnicUniversity. The list of scientific papers includes 5 works in the field of design of adaptive information systems, creation of intelligent decision support systems. ORCID: 0000-0002-1231-7078; Author ID (Scopus): 57217734070; AuthorID (RSCI) 1145841; *anastasia589@mail.ru* .

Received April 7, 2022. Revised June 2, 2022. Accepted June 10, 2022.

УДК 004.58 Научная статья DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-263-268

Поддержка принятия решения при выборе метода глобального освещения на основе кроссплатформенного приложения

© 2022, А.В. Киселёв✉, Н.И. Юсупова

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Аннотация

Рассматривается технология принятия решений на примере разработки специализированной системы поддержки принятия решений для разработчиков систем визуализации информации. Актуальной задачей является поддержка выбора метода глобального освещения из более 60 существующих. Постановка этой задачи выполнена на основе анализа предметной области методов глобального освещения и принятых показателей их оценки. Приведены простейшие варианты организации рационального решения поставленной задачи. Разработанную систему поддержки принятия решений - десктопное кроссплатформенное программное приложение на базе платформы *AvaloniaUI* - можно рассматривать как пример типовых решений подобных задач.

Ключевые слова: *поддержка принятия решений, рендеринг, глобальное освещение, матрица приоритетов, правила нечёткого вывода.*

Цитирование: *Киселёв А.В., Юсупова Н.И.* Поддержка принятия решения при выборе метода глобального освещения на основе кроссплатформенного приложения // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С. 263-268. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-1-263-268.

Финансирование: работа частично поддержана грантом РНФ 22-19-00471.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Проектирование современных систем различного назначения невозможно без онтологии предметной области (ПрО). Чтобы принять обоснованное решение, требуется учесть множество взаимодействующих факторов (иногда десятки и сотни), в то время как для человека оперирование более чем десятью сущностями может вызывать большие затруднения. Для решения подобных проблем применяют системы поддержки принятия решений (СППР), которые обычно представляют собой интерактивные информационно-аналитические системы, помогающие лицу, принимающему решение (ЛПР), использовать результаты систематизации знаний в избранной ПрО, а также в методо-ориентированных ПрО, связанных со способами принятиями рациональных решений.

Например, построение оригинальной системы рендеринга[1] из-за сложности трёхмерной графики определяется результатом принятия решения о выборе метода глобального освещения (ГО). Поскольку трёхмерная графика активно используется во многих сферах деятельности, то поддержка проектирования элементов системы рендеринга является актуальной задачей, на примере которой можно проиллюстрировать создания простейших СППР.

В статье рассматриваются вопросы разработки СППР для выбора метода ГО, обеспечивающего фотореализм компьютерных изображений 3D-объектов.

[1] Ре́ндеринг (англ. *rendering* — «визуализация») — термин в компьютерной графике, обозначающий процесс получения изображения по модели с помощью компьютерной программы. *Прим. ред.*

1 Постановка задачи

За несколько десятилетий развития компьютерных технологий появилось множество подходов к реализации ГО в системах рендеринга, каждый из которых выполняет определённый спектр задач и обладает своими характеристиками. В статье рассматривается задача принятия решения при выборе метода реализации ГО как системы имитации света. Разработчикам при создании подобных систем приходится проводить полноценный анализ ПрО, что занимает много времени без гарантии полноты такого анализа [1].

Существует множество методов имитации ГО в реальном времени с разной степенью гибкости. Для большинства из них требуется предварительный проход, в котором накапливается информация о геометрии сцены.

При создании СППР для выбора метода ГО их следует систематизировать, выбрать показатели их эффективности (частные критерии), построить критерий и правила рационального выбора метода, наконец, разработать приложение, реализующее СППР.

2 Методы глобального освещения

В последние годы произошел прорыв в методах ГО в реальном времени, которые не требуют прохода для предварительной обработки и полностью работают с вычисляемыми в реальном времени структурами данных. Эти методы обладают различной степенью фотореализма и производительностью [1].

Наиболее известными классами методов ГО являются: *Finite Elements, Monte Carlo, Photon Mapping, Instant Radiosity, Many Lights, Point-based, Discrete Ordinate Methods, PRT* [2]. Некоторые из этих классов дополнительно разделяются на подклассы в зависимости от способов применения. Всего можно насчитать более 60 методов ГО.

3 Показатели методов глобального освещения

В работе [2] выделены шесть показателей для оценки методов ГО.

1) *Скорость* или абсолютная производительность метода.
2) *Качество* – мера, делающая упор на фотореалистичность.
3) *Динамика* – показатель классифицирует методы в соответствии с тем, сколько аспектов или параметров можно изменить во время выполнения.
4) *Масштабируемость* – способность сохранять свою скорость и качество при изменении (увеличении или уменьшении) сложности сцены или разрешения изображения.
5) *Реализация* – показывает трудоёмкость повторной реализации метода (количество и сложность кода, использование общих структур данных и возможность повторного использования библиотек).
6) *Графический процессор* – отражает соответствие возможностям графических процессоров.

В [2] измерение рассмотренных показателей эффективности ГО предложено производить в номинальной шкале от 0 до 5, и выполнено для всех известных на тот момент методов ГО.

При проектировании системы рендеринга встаёт вопрос о свёртке значений подобных частных критериев для получения глобального скалярного критерия выбора эффективного алгоритма ГО.

4 Критерии и правила принятия решений

Согласно принятой номинальной шкале простейшим вариантом свёрки показателей эффективности ГО является среднее арифметическое. Однако такой приём предполагает равенство приоритетов показателей. Можно воспользоваться средней взвешенной оценкой. В последнем случае проблема состоит в определении весов показателей, для решения которой известен ряд подходов [3-5]. Например, при различии мнений экспертов, вовлечённых в подготовку решения, можно воспользоваться матрицей приоритетов (матрица критериев) [5].

Для сравнения различных вариантов решения можно воспользоваться правилами нечёткого вывода, разрешая проектировщику оценивать альтернативы в форме «Если X_1 = низкая и X_2 = хорошая, то S = высокая», где X_i – это частный критерий, а S – приемлемость данной сущности относительно поставленной задачи. Архитектура подобной системы нечёткого вывода обычно включает четыре составляющих [6]: базу правил с функциями принадлежности; фаззификатор входных данных; механизм вывода; дефаззификатор результатов нечёткого вывода.

5 Кроссплатформенное приложение для поддержки принятия решения

Разработанная СППР предназначается для разработчиков систем рендеринга.

В соответствии с потребностями ЛПР, которые выражаются в форме оценок значимости шести показателей (см. раздел 3) по шкале от 0 до 5, система обеспечивает ЛПР рекомендацией для выбора метода ГО.

СППР реализована в виде кроссплатформенного десктопного приложения, написанного на языке *C#* с использованием платформы *AvaloniaUI* (*https://avaloniaui.net/*), позволяющей использовать разработанную систему в операционных системах *Windows, Linux, MacOS*.

Приложение предлагает подыскать приемлемый метод ГО одним из трёх способов свёртки частных показателей эффективности (см. раздел 4).

Среднее взвешенное частных показателей позволяет выбрать один из упомянутых в разделе 1 классов методов ГО, и пользователь получает информацию о рекомендуемом алгоритме в виде ссылки на литературный источник (рисунок 1).

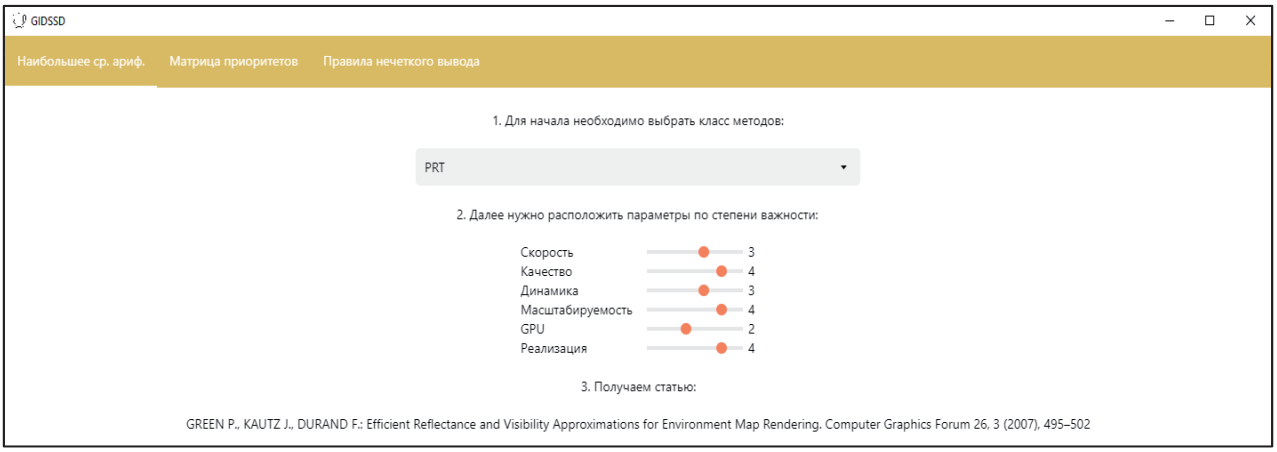


Рисунок 1 – Скриншот работы СППР при отыскании рекомендации на основе наибольшего среднего взвешенного значения частных показателей

Интерфейс приложения при использовании матрицы приоритетов представлен на рисунке 2. В данном случае пользователь должен задать веса параметров и заполнить матрицу приоритетов путём парного сравнением частных критериев.

На рисунке 3 отображён пример работы с приложением при использовании нечёткого вывода. От пользователя требуется задать совокупность правил вида «ЕСЛИ (X_1, U_1) И … (X_n, U_n) ТО S». Здесь X_i – один из шести частных критериев оценки метода, U_i – показатель удовлетворённости критерия, принимающий три значения: вполне удовлетворяющий; удовлетворяющий; не удовлетворяющий.

S – это показатель удовлетворённости правила, который расширяет значения, принимаемые U_i несколькими значениями: более, чем удовлетворяющий; безупречный.

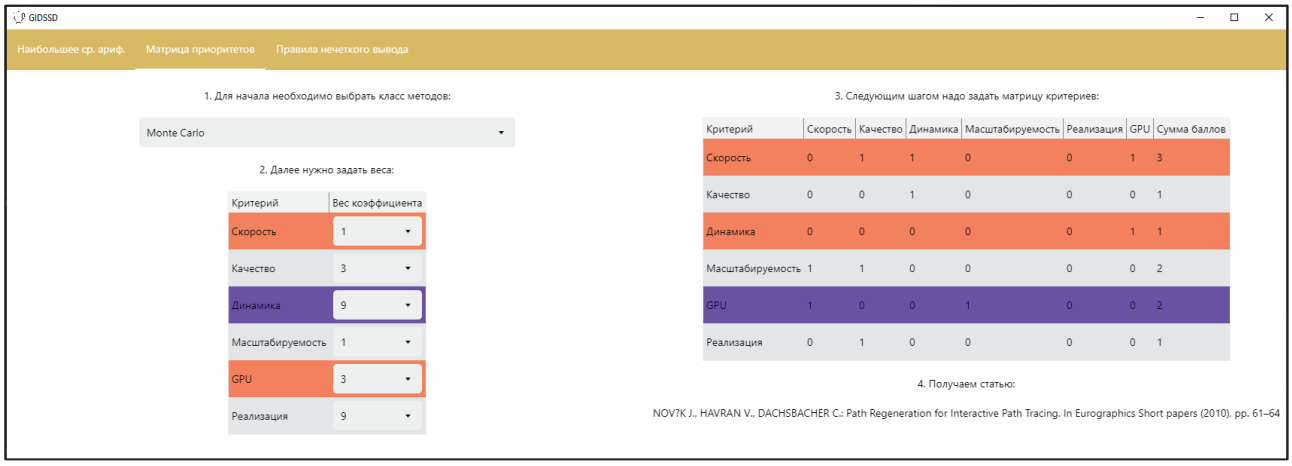


Рисунок 2 – Скриншот работы СППР при отыскании рекомендации на основе использования матрицы приоритетов

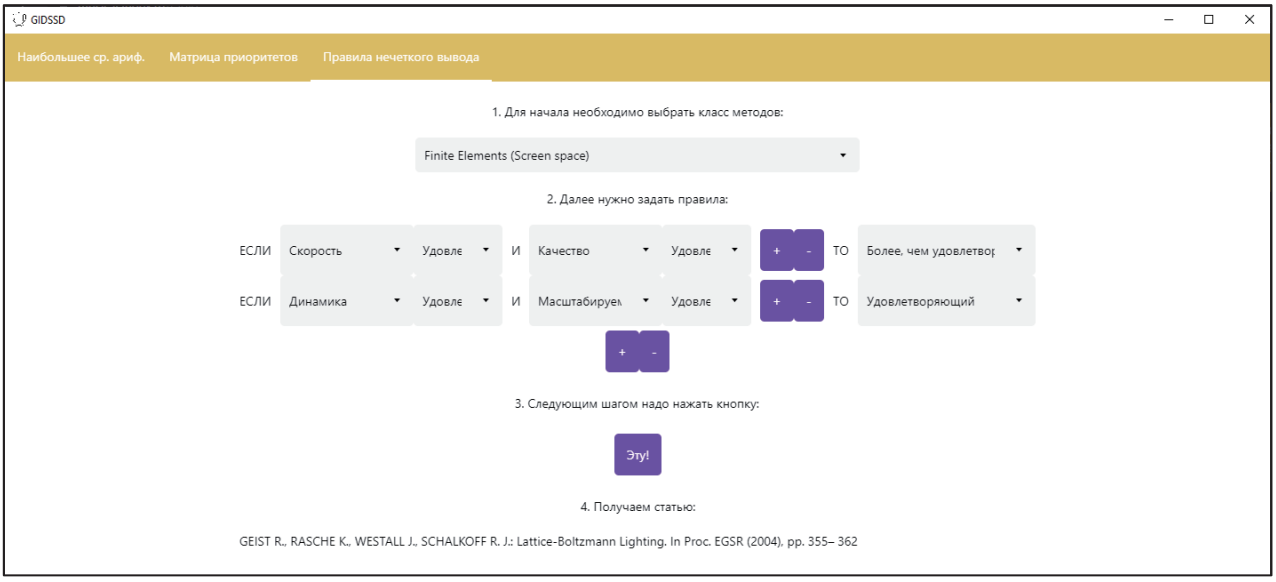


Рисунок 3 – Скриншот работы СППР при отыскании рекомендации на основе правил нечёткого вывода

Заключение

В основу построения СППР, поддерживающей выбор метода ГО при рендеринге, положен анализ ПрО, в которой надлежит принимать решения, и ПрО, связанной с методами многокритериального выбора решений.

Опыт разработки подобных систем может быть обобщён и в части возможности оперативной смены ПрО, описание которой естественно выполнять в форме онтологии, и в части интеграции с онтологическими описаниями различных методо-ориентированных ПрО [7].

Список источников

[1] ***Lambru C., Moldoveanu F., Morar A., Asavei V.*** Comparative Analysis of Real-Time Global Illumination Techniques in Current Game Engines // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 125158–125183. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3109663.

[2] ***Ritschel T., Dachsbacher C., Grosch T., Kautz J***. The State of the Art in Interactive Global Illumination // Computer Graphics Forum. 2012. Vol. 31. P. 160-188. https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.02093.x.

[3] ***Полынская Г.А.*** Информационные системы маркетинга. М.: Издательство Юрайт, 2018. — 370 с.

[4] ***Пиявский С.А.*** Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, №3. С. 449-468. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.

[5] ***Исакова А.И., Кориков А.М., Левин С.М.*** Многокритериальный выбор на основе матрицы критериев при оценке эффективности программного обеспечения информационных систем // Доклады ТУСУР. 2020. Т. 23, № 4. С.40–44.

[6] ***Izquierdo S.S, Izquierdo L.A.*** Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2018. №21. DOI: 10.18564/jasss.3660.

[7] ***Смирнов С.В.*** Онтологический подход к формированию гетерогенных сред моделирования // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2011. №4(32). С.50-61.

Сведения об авторах

Киселёв Андрей Владимирович, 1997 г. рождения. Окончил магистратуру Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ), факультет информатики и робототехники, кафедра вычислительной математики и кибернетики (2021). Ныне аспирант этой кафедры. *andrey.kise15@yandex.ru* ✉.

Юсупова Нафиса Исламовна, 1953 г. рождения. Окончила Воронежский университет по специальности «Радиофизика и электроника» (1975), д.т.н. (1998). Профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики УГАТУ. Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 400 публикаций в области математического, программного и информационного обеспечения сложных систем, технологий искусственного интеллекта. Author ID (РИНЦ): 108068; Author ID (Scopus): 57195779200; Researcher ID (WOS): AAH-2713-2021. *yusupova.ni@ugatu.su*

Поступила в редакцию 18.05.2022, после рецензирования 14.06.2022. Принята к публикации 20.06.2022.

CC BY

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-263-268

Decision support when choosing a global illumination method based on a cross-platform application

© 2022, A.V. Kiselyov✉, N.I. Yusupova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Abstract

Decision-making technology is considered on the example of developing a specialized DSS for developers of information visualization systems. An urgent task is to support the choice of a global illumination method from more than 60 existing ones. The formulation of this problem is based on the analysis of the subject area of global illumination meth-

ods and the accepted indicators for their evaluation. The simplest options for organizing a rational solution to the problem are given. The developed DSS is a desktop cross-platform software application based on the AvaloniaUI platform, which can be used as an example of typical solutions to such problems.

Key words: *rendering, decision support, global illumination, priority matrix, fuzzy inference rules.*

For citation: *Kiselyov AV, Yusupova NI.* Decision support when choosing a global illumination method based on a cross-platform application [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 263-268. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-263-268.

Financial Support: The work was partially supported by a grant from the Russian Science Foundation 22-19-00471.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - The result of the application when finding the largest weighted arithmetic mean
Figure 2 - The result of the application when using the priority matrix
Figure 3 - The result of the application when using fuzzy inference rules

References

[1] ***Lambru C, Moldoveanu F, Morar A, Asavei V.*** Comparative Analysis of Real-Time Global Illumination Techniques in Current Game Engines // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 125158–125183. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3109663.

[2] ***Ritschel T, Dachsbacher C, Grosch T, Kautz J.*** The State of the Art in Interactive Global Illumination // Computer Graphics Forum. 2012. Vol. 31. P. 160-188. https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.02093.x

[3] ***Polynskaya GA.*** Marketing information systems [In Russian]. Moscow Yurayt Publisher, 2018. 370 p.

[4] ***Piyavsky SA.*** Method of universal coefficients for the multi-criterial decision making [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 449-468. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-449-468.

[5] ***Isakova AI, Korikov AM, Levin SM.*** Multi-criteria choice based on a matrix of criteria in evaluating the effectiveness of information systems software [In Russian]. TUSUR reports. 2020; 23(4): 40–44.

[6] ***Izquierdo SS, Izquierdo LA.*** Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment. J. of Artificial Societies and Social Simulation. 2018; 21. DOI: 10.18564/jasss.3660.

[7] ***Smirnov SV.*** Ontological approach to the formation of heterogeneous modeling environments [In Russian]. *Bulletin of the Samara State Technical University.* Series “Technical Sciences”. 2011; 4(32): 50-61.

About the authors

Andrey Vladimirovich Kiselyov (b. 1997). Graduated from the Ufa State Aviation Technical University, Faculty of Informatics and Robotics, Department of Computational Mathematics and Cybernetics (2021). Currently a postgraduate student of this department. *andrey.kise15@yandex.ru.*✉.

Nafisa Islamovna Yusupova (b. 1953). Graduated from Voronezh University with a degree in Radiophysics and Electronics (1975), Dr. of Tech. Sc. (1998). Professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Ufa State Aviation Technical University. Honored Scientist of the Republic of Belarus. Member of the Russian Association of Artificial Intelligence. The list of scientific papers includes more than 400 publications in the field of mathematical, software and information support for complex systems, artificial intelligence technologies. Author ID (RSCI): 108068; Author ID (Scopus): 57195779200; Researcher ID (WOS): AAH-2713-2021. *yusupova.ni@ugatu.su*

Received May 18, 2022. Revised June 14, 2022. Accepted June 20, 2022.

Индекс 29151

Ontology Summit 2022
Pandemics and Other Disasters

Пандемия COVID-19, а также другие пандемии и стихийные бедствия вызвали впечатляющую реакцию со стороны правительств, индустрии и академического сообщества во всем мире. Онтологии могут играть важную роль в поиске и описании данных, функциональной совместимости и гармонизации различных источников данных, имеющих отношение к бедствиям, таким как пандемия COVID-19.

На онтологическом саммите 2022 рассматривается роль, которую онтологии могут сыграть в оценке стихийных бедствий. Первый трек посвящён обзору понятия бедствия. В других треках рассматривается использование онтологий при оценке различных видов стихийных бедствий.

Ontology Summit 2022 состоит из виртуального дискурса, виртуальных презентаций и групповых сессий в форме видеоконференций.

Трек 1: *Атрибуты бедствий*

Существует несколько несовместимых определений понятия бедствия и связанной с ним терминологии национальных и международных агентств.

Информация, необходимая для прогнозирования, мониторинга, смягчения последствий и управления бедствиями и рисками, сложна и объединяет многие организации (как правительственные, так и неправительственные), страны, языки и культуры.

Некоторые примеры атрибутов стихийных бедствий включают в себя: гео-временную протяжённость, категории рисков и типы стихийных бедствий, а также источники этих бедствий (естественные и преднамеренные).

Трек 2: *Пандемии*

Продолжающиеся пандемии включают: туберкулез, ВИЧ/СПИД и COVID-19.

Трек 3: *Экологические бедствия*

Примеры проблем: изменение климата, загрязнение окружающей среды, лесные пожары, наводнения и разрушение среды обитания.

Трек 4: *Космические катастрофы*

Некоторые примеры проблем: космический мусор; искусственные спутники; астероиды/кометы; солнечная активность и воздействие на Землю.

https://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2022

Перевод на русский язык Коммюнике онтологического саммита 2022 (Ontology Summit 2022 Communiqué: «Pandemics and Other Disasters») планируется опубликовать в ближайшем номере журнала.