

Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)

ISSN 2313-1039 (E)

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Russian
Science
Citation
Index

Vol **10**
N **2**
2020

Научный журнал - Scientific journal

Scientific journal

Volume 10

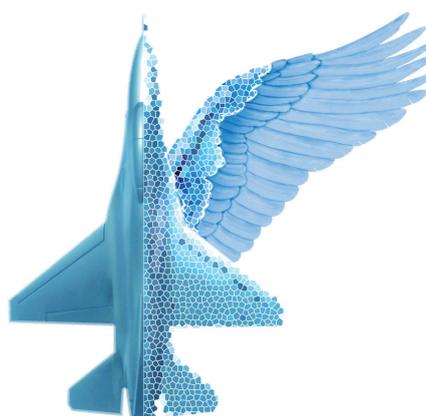
№ 2

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 10

№ 2



Editorial Board - Редакционная коллегия

Anatoly I. **Belousov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Nikolay M. **Borgest**, Ph.D., Professor, Samara University, Samara, Russia
 Stanislav N. **Vasiliev**, Doctor of Phys. and Math. Sciences, Professor, Academician of the RAS, ICS of the RAS, Moscow, Russia
 Vladimir G. **Gainutdinov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, KNITU-KAI, Kazan, Russia
 Vladimir V. **Golenkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus
 Vladimir I. **Gorodetsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, InfoVings LLC, St. Petersburg, Russia
 Valeriya V. **Gribova**, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, IAPU FEB RAS, Vladivostok, Russia
 Yury A. **Zagorulkov**, Ph.D., Senior Researcher, ISI SB RAS, Novosibirsk, Russia
 Anton V. **Ivashchenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State Technical University, Samara, Russia
 Valery A. **Komarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Vladik **Kreinovich**, Ph.D., Professor, University of Texas at El Paso, El Paso, USA
 Victor M. **Kurechik**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Taganrog, Russia
 Dmitry V. **Lande**, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, IPRI NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine
 Lyudmila V. **Massel**, Doctor of Technical Sciences, Professor, ISEM SB RAS, Irkutsk, Russia
 Aleksandr Yu. **Nesterov**, Doctor of Philosophy, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Dmitry A. **Novikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, ICS RAS, Moscow, Russia
 Alexander V. **Palagin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NASU, Ins. of Cybernetics, Kiev, Ukraine
 Semyon A. **Piyavsky**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow City Pedagogical University, Samara, Russia
 Yury M. **Reznik**, Doctor of Philosophy, Professor, Institute of Philosophy of the RAS, Moscow
 George **Rzevski**, Professor, Open University, London, UK
 Peter O. **Skobelev**, Doctor of Technical Sciences, «Smart solutions» Scientific Production C., Samara, Russia
 Sergey V. **Smirnov**, Doctor of Technical Sciences, ICCS RAS - SamRC RAS, member of IAOA, Samara, Russia
 Dzhavdet S. **Suleymanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia
 Boris E. **Fedunov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia
 Altynbek **Sharipbay**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Artificial Intelligence, Nur-Sultan, Kazakhstan
 Boris Ya. **Shvedin**, Candidate of Psychological Sciences, Dan Rose LLC, Member of IAOA, Rostov-on-Don, Russia

Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., профессор, Самарский университет, член IAOA, Самара, Россия
Васильев Станислав Николаевич*, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Гайнутдинов Владимир Григорьевич, д.т.н., профессор, КНИТУ-КАИ, Казань, Россия
Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск, Беларусь
Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, ООО «ИнфоВингс», Санкт-Петербург, Россия
Грибова Валерия Викторовна*, д.т.н., с.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
Загорюлько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия
Иващенко Антон Владимирович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара, Россия
Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Креинович Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо, США
Курейчик Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев, Украина
Масель 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., проф., член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Палагин Александр Васильевич, д.т.н., проф., 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 Шейкетович*, д.т.н., профессор, академик АН РТ, Казань, Россия
Федунов Борис Евгеньевич*, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, Москва, Россия
Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Ин-т искусственного интеллекта, Нур-Султан, Казахстан
Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член IAOA, Ростов-на-Дону, Россия

* - 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 2014-2018 and journal received the ICV (Index Copernicus Value) of 67.46 points (2014), 67.64 (2015), 77.98 (2016), 87.78. (2017), 85.38 (2018). Журнал 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 включён в список журналов, входящих в базу данных **Russian Science Citation Index (RSCI)** на платформе **Web of Science**. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **0,96** (2013), **0,89** (2014), **1,30** (2015), **1,05** (2016), **0,95** (2017), **1,13** (2018).

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Онтология пандемии: реальная и мнимая 145-148

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Ю.М. Резник 149-162
Проектирование цивилизации: конструктивистская и этическая версии, перспективы для России

С.В. Микони 163-175
Улучшение познавательной функции понятий технической диагностики с применением системного подхода и собственных свойств модели

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.В. Грибова, В.А. Тимченко 176-189
Концепция поддержки лазерного аддитивного производства на основе онтологического подхода

Ю.И. Бутенко 190-200
Онтологический подход к формированию нормативного профиля при сертификации программного обеспечения

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

А.В. Щёкин 201-217
Особенности наследования информации в задачах интеграции систем технической подготовки производства

А.Н. Набатов, И.Э. Веденяпин 218-231
Онтология объединения информационных подсистем: принципы и примеры

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

С.А. Пиявский, Д.В. Киселев 232-245
Механизмы принятия оптимальных решений в управлении развитием «умного города»

Онтологический Саммит 2020: ГРАФЫ ЗНАНИЙ 246-248

Журнал ориентирован на учёных и специалистов, работающих по научным направлениям: онтологические аспекты общих вопросов формализации проектирования, прикладные онтологии проектирования, инжиниринг онтологий, методы и технологии принятия решений.
Правила подготовки рукописей статей размещены на сайте журнала «Онтология проектирования»: http://agora.guru.ru/scientific_journal/.

Контакты учредителей

ФИЦ Самарский научный центр РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smimov@iccs.ru.
Самарский университет: 443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, тел.: +7 (846) 267 46 47, Боргест Н.М., borgest@yandex.ru.
ООО «Новая техника» (издательство): 443010, Самара, ул. Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс: +7 (846) 332 67 81.

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 30.06.2020. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENT

EDITORIAL

Real and Imaginary Ontology of Pandemic **145-148**

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

Yu.M. Reznik **149-162**
The design of civilization: constructivist and ethical versions, prospects for Russia

S.V. Mikoni **163-175**
Improving the cognitive function of the concepts of technical diagnostics
using the system approach and the model's own properties

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

V.V. Gribova, V.A. Timchenko **176-189**
The concept of support for laser-based additive manufacturing on the basis of ontological approach

Iu.I. Butenko **190-200**
Ontology approach to normative profiles forming at software certification

ONTOLOGY ENGINEERING

A.V. Shchekin **201-217**
The specifics of information inheritance in CAD/CAM-integration

A.N. Nabatov, I.E. Vedenyapin **218-231**
The ontology of merging information subsystems: principles and examples

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

S.A. Piyavsky, D.V. Kiselev **232-245**
Optimal decision making mechanisms in the smart city development management

Ontology Summit 2020: Knowledge Graphs **246-248**

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, decision-making methods and technologies.

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

Contacts Founders

FIC 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

Онтология пандемии: реальная и мнимая Real and Imaginary Ontology of Pandemic

«Компьютерное моделирование вспышек гриппа в местных сообществах может помочь исследователям, эпидемиологам и лицам, принимающим решения, лучше понять влияние структуры сообщества на скорость распространения заболеваний и относительные преимущества различных видов профилактики и вмешательств»

MEDINFO¹, 2007

*«Не хочу уходить с карантина, вылезать понемногу на свет,
И давно уже как-то едино — что открыты границы, что нет.
Для чего нам была заграница? Мало пользы и много вреда.
Лучший способ собой сохраться — никогда не ходить никуда»*

Дмитрий Быков

«Карантинное. Монолог вымышленного лица», Новая газета, 23.05.2020

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

Страны, правительства и граждане постепенно возвращаются к своей привычной жизни.

*Что это было (и продолжает ещё происходить)?*² Кому понадобилось организовать этот в большей степени социальный эксперимент или спектакль, и каковы цели организаторов? Насколько реальны тиражируемые СМИ угрозы пандемии, каковы рецепты борьбы в подобных случаях и каковы шансы выживания у разных социальных групп, какова здесь роль элиты и как это изменит жизнь больших и малых сообществ? Эти и тысячи других вопросов висят в воздухе последние месяцы, и на большую их часть непротиворечивых ответов нет. Можно лишь утверждать, что общество, его организационные структуры в своём нынешнем развитии не готовы без серьёзных потерь бороться с подобными угрозами.

Онтология пандемии должна включать не только онтологию вируса, как, например, коронавирусная инфекционная онтология³, но и онтологию среды его размножения и поражения (см. эпиграф из журнала MEDINFO), т.е. онтологию общества, его устройства, мобильные, коммуникационные и психологические (см. эпиграф Д. Быкова) атрибуты его членов.

«Мы, действительно, вползаем в новую реальность. С одной стороны, мы имеем цивилизационный катаклизм и очевидную необходимость менять цивилизационный тип общества. А, с другой стороны, перед нами стоит вопрос о том, как мы эту смену пройдем и в каком виде мы вообще из неё вынырнем»⁴. И коронавирусная пандемия является тестом для олигархических групп, у которых совсем другой тип дохода, увеличивающий расслоение общества, что может «спровоцировать разные группы населения на социальные выступления»⁴

¹ Eriksson H., Morin M., Jenvald J., Gursky E., Holm E., Timpka T. Ontology Based Modeling of Pandemic Simulation Scenarios. Volume 129: MEDINFO. 2007. P.755-759. - <http://ebooks.iospress.nl/publication/11077>.

² Подобными вопросами задаётся всё население планеты. Ими же озабочены и учёные. Настоятельно рекомендуем подборку свежих статей в Европейском журнале по психоанализу: *Coronavirus and philosophers*. M. Foucault, G. Agamben, J.L. Nancy, R. Esposito, S. Benvenuto, D. Dwivedi, S. Mohan, R. Ronchi, M. de Carolis. *European Journal of Psychoanalysis*. - <https://www.journal-psychoanalysis.eu/coronavirus-and-philosophers/>. А также статью: António Carvalho, Irina Velicu. *Pandemic Ontologies of Isolation*. Published by Undisciplined Environments on April 28, 2020. - <https://undisciplinedenvironments.org/2020/04/28/pandemic-ontologies-of-isolation/>.

³ Coronavirus Infectious Disease Ontology. Last uploaded: April 28, 2020. - <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/CIDO>.

⁴ Холкин Д. Юрий Громько. Возможна ли инженерия истории? О диалектике момента, конкуренции за проекты будущего, основаниях для оптимизма. *Medium. Internet-of-energy*. Апрель 24, 2020. - <https://medium.com/internet-of-energy>.

(беспорядки в США в начале июня этого года, вызванные в том числе и последствиями изоляционных мер правительства, подтверждают этот тезис).

Следом за «Капиталом» Маркса, современным бестселлером можно назвать «Капитал в XXI веке» французского экономиста Томаса Пикетти⁵, определивший неравенство необходимой характеристикой капитализма, которое может быть предотвращено только путём государственного вмешательства. Видно, что без идеализации государственного аппарата, заботящегося о гражданах, и здесь не обошлось. Вопрос заключается в переходе на другие формы и методы управления, которые связаны с различными кибернетическими подходами и новыми формами планирования. Те возможности, которые имеются уже сейчас - например, мультиагентные технологии, - позволяют обсуждать связывание форм прогнозирования, планирования и проектирования и их осуществление в режиме, близком к реальному времени. Фактически это один из ключевых вопросов, для чего будет использоваться та, безусловно, намечающаяся революция, которую называют *цифровизацией*.

Роль онтологии в построении моделей эпидемий и пандемии, в частности, трудно переоценить. Она предназначена для помощи исследователям в поисках подходящих моделей, разработчикам моделей в поиске соответствующих данных для построения, калибровки и проверки моделей, а также в использовании таксономий, которые приняты сообществом, как средство доступа к данным на нескольких уровнях абстракции⁶.

Модели изучения возбудителей инфекционных заболеваний (*The Models of Infectious Disease Agent Study*) во многом опираются на онтологии, и это – хорошая основа для уменьшения пространства поиска и конструирования адекватных моделей в эпидемиологии. Онтологии помогают в анализе ограничений на авиаперелеты для предотвращения пандемий, анализе целевых стратегий вмешательства для борьбы с пандемиями, анализе запасов вакцин и противовирусных препаратов для Всемирной организации здравоохранения.

Эпидемиологическая онтология (*Epidemiology Ontology*), описывая семантические ресурсы для терминов, специфичных для эпидемиологии, осуществляет интеграцию с другими сопряженными онтологиями в семантическую платформу для совместного использования ресурсов эпидемиологии⁷.

БиоКастер онтология (*BioCaster Ontology, BCO*) - это многоязычная прикладная онтология, предназначенная для раннего выявления событий в области общественного здравоохранения в средствах массовой информации. *BCO* с открытым исходным кодом и свободным доступом для общего пользования направлена на описание терминов и отношений, необходимых для выявления и оценки событий общественного здравоохранения в «серой» (непрофессиональной) литературе на ранней стадии; на преодоление разрыва между (многоязычной) литературой и существующими стандартами в биомедицине. В отличие от других онтологий, описывающих инфекционные заболевания, *BCO* фокусируется на использовании терминов и отношений в неформальных неструктурированных отчетах, которые часто делаются на преддиагностической стадии вспышки болезни журналистами, не прошедшими медицинскую подготовку. Это делается для обеспечения мониторинга и раннего предупреждения населения об опасностях для здоровья из сообщений в Интернете⁸.

Под влиянием коронавируса подавляющее большинство людей разделилось на «коронапаникеров» и «коронаскептиков». Одни предлагают верить в то, что никакого коронавируса

⁵ Thomas Piketty. Capital in the Twenty-First Century. Harvard University Press, 2014, 696 p. ISBN 9780674430006.

⁶ Frank G., Wheaton W., Bakalov V. et al. An Ontology for Designing Models of Epidemics. Nat Prec (2009). <https://doi.org/10.1038/npre.2009.3555.1>.

⁷ Pesquita, C., Ferreira, J.D., Couto, F.M. et al. The epidemiology ontology: an ontology for the semantic annotation of epidemiological resources. J Biomed Semant 5, 4 (2014). <https://doi.org/10.1186/2041-1480-5-4>.

⁸ Jayawardhana U.K., Gorsevski P.V. An ontology-based framework for extracting spatio-temporal influenza data using Twitter. International Journal of Digital Earth. Vol. 12, 2019. Is.1. P.2-24. - <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1411535>.

не существует или что его создали искусственно, чтобы обвалить мировую экономику. Другие – что это совершенно невиданный ранее вирус, способный убить сотни миллионов людей, против которого нет никакого спасения, кроме «самоизоляции» и всеобщей вакцинации. Автор только что вышедшей книги⁹, преподаватель кафедры философии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», предлагает читателям не верить никому и попробовать вместе разобраться. При этом нужно иметь хотя бы немножко развитое чувство юмора, без которого с этой проблемой не справиться.

Во время «коронапаники» сложнее всего объяснить, что паниковать не нужно, что здоровым людям нет необходимости на протяжении нескольких месяцев сидеть взаперти и не выходить на улицу, или, например, что хождение по улице в маске не уменьшает, а может увеличить риск заболеть. Автор книги анализирует данные, высказывания и действия представителей власти, журналистов и прочих «коронаэкспертов» с точки зрения диалектической логики. Стиль книги острый и иронический, в связи с чем в ней есть места, которые могут быть расценены как «оскорбление чувств коронаверующих», точно так же, как и весьма скептические высказывания в отношении «коронаскептиков». Автор уверен, что как тем, так и другим эту книгу читать не стоит до тех пор, пока ажиотаж вокруг коронавируса не спадёт, поскольку книга никого не может переубедить. Она написана для будущего, поскольку автор уверен, что «технология коронапаники», независимо от того, была ли она специально кем-то придумана или сложилась стихийно, будет использоваться и в будущем.

Подобные оценки и прогнозы многократно повторяются и множатся в Интернете. «Это не пандемия, а постпандемия» - заголовок одной статьи в подборке Яндекс.Дзен «Почему наука бессильна»¹⁰. Баталии коронаэнтузиастов и коронаскептиков лет через десять, возможно, будут восприниматься как заблуждения сторон, впервые столкнувшихся с новым видом глобального кризиса, а нынешние прогнозы и сценарии, предрекающие радикальные изменения в мире или их отсутствие, не подтвердятся, и о них просто забудут. В ближайшие годы произойдет раскручивание событий, запущенных пандемией COVID-19. Путём проб и ошибок будут найдены пути преодоления последствий этих событий, и к концу десятилетия 2020-х, человечество, возможно, поймет, что с ним происходило в его начале, и назовёт случившееся в 2020-х «*Большим откровением*».

События, связанные с пандемией COVID-19, всё глубже погружают человечество в *экзистенциальный кризис*¹⁰. Миллиарды людей испытывают растерянность и тревогу, не понимают причин происходящего и его последствий, и как трактовать происходящее:

- Как смертельно опасную для жизни тысяч людей пандемию нового коронавируса?
- Как рядовую эпидемию, риски которой раздуты «пандемией паники и страха»?
- Как инфодемию, возникшую самопроизвольно или хитро спланированную и сметающую всё на своём пути: экономику, социальную сферу, благополучие миллионов людей?

Не поняв, с чем мы столкнулись, невозможно судить об эффективности избираемых стратегий борьбы с этим «нечто», бессмысленно спорить о стратегиях, адаптирующих общество к грядущим изменениям. Ситуация ещё более усугубляется прогрессирующей в последние годы поляризацией общества в развитых странах. Что же делать правительствам, когда эксперты настаивают на противоположных стратегиях?

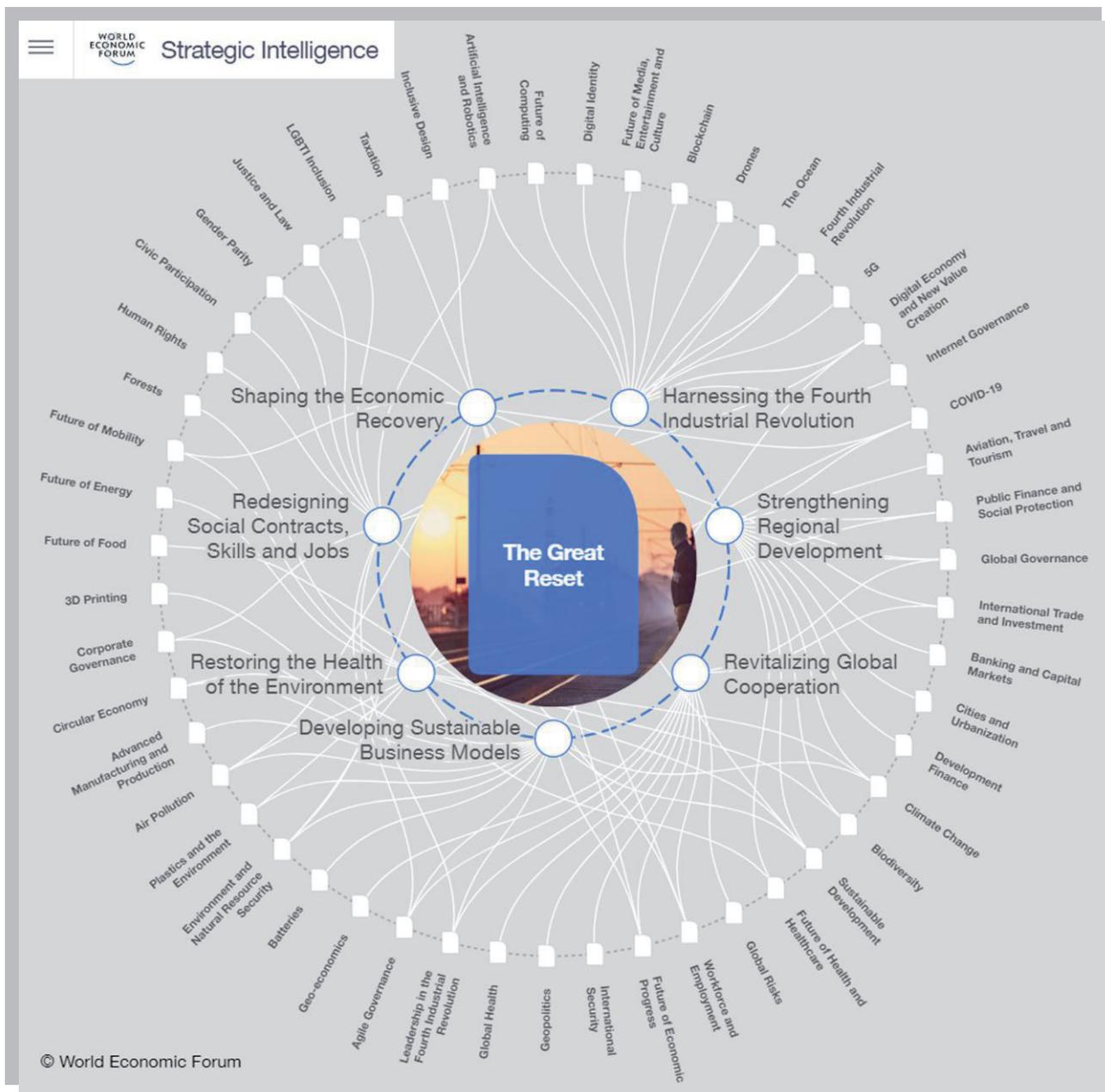
Развивая эту тему в мировом масштабе, участники Всемирного экономического форума выдвинули новую инициативу - *The Great Reset*¹¹ («*Великая перезагрузка*») - это проект Всемирного экономического форума и Принца Уэльского, призванный помочь лицам, принима-

⁹ Пихорович В.Д. Логика «коронакризиса»: Мировая экономическая катастрофа начала XXI века. Марксистский анализ. URSS. 2021. - 200 с. ISBN 978-5-9710-7955-2.

¹⁰ Почему наука бессильна. 20 мая 2020 года - https://zen.yandex.ru/media/the_world_is_not_easy/pochemu-nauka-bessilna-5ec51b8b3fa8210c3e5db748.

¹¹ The Great Reset: A Unique Twin Summit to Begin 2021. - <https://www.weforum.org/great-reset/about>.

ющим решения, на пути к более устойчивому миру после окончания пандемии. Экономические последствия COVID-19 доминируют в восприятии риска, но инициаторы считают, что есть уникальная возможность изменить мировую экономику.



Dum spiro, spero! Афоризм, приписываемый Цицерону и уже использованный в журнале в предыдущем номере в редакторской статье, приобрёл особую актуальность в наши дни и связан с *надеждой свободно дышать*, а значит жить и творить. Мы рады авторам из Москвы, Санкт-Петербурга, Владивостока, Самары, Уфы и других городов, приславших результаты своих исследований построения онтологий и формализации проектных процедур в различных предметных областях. Мы по-прежнему ждём прорывных работ в области онтологического инжиниринга, обзорных статей по онтологиям и их применениям, по технологиям принятия разумных и справедливых решений.

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

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 101.9

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-149-162

Проектирование цивилизации: конструктивистская и этическая версии, перспективы для России

Ю.М. Резник*Институт философии РАН, Москва, Россия*

Аннотация

Прежде чем приступить к цивилизационному строительству, философия должна определить способы его создания и показать ограничения, которые необходимо учитывать на этом пути. При этом необходимо ответить на вопрос, как нужно мыслить, чтобы получить логически непротиворечивое описание цивилизационного проекта. Предметом анализа может быть процесс преобразования в языке возможных миров в реальный мир, логические процессы и способы описания, на которые опираются повседневное мышление и научные исследования. Если есть логически непротиворечивое описание цивилизации, то можно говорить о её проекте, претендующем на универсальную значимость для определённого сообщества людей. Другой подход основан на признании приоритета и ценности жизни. Такая «цивилизация жизни» подготовлена всем ходом человеческой истории и может базироваться на этике благоговения перед жизнью. Её цель – бережное и творческое отношение к жизни во всех её проявлениях. Она предполагает поворот в сознании людей и реализуется посредством таких этических практик, как самоограничение, самоотречение и самосовершенствование. Автор пытается ответить на вопрос: можно ли использовать указанные проектные версии для цивилизационного строительства России? Поскольку они вытекают из культурных истоков западной цивилизации, ни одна из них не может служить непосредственной предпосылкой для разработки цивилизационной модели другой страны или общества. Предлагается учитывать существенные различия культурных устоев тех или иных цивилизаций и рассматривать российскую цивилизацию как транскультурный феномен, являющийся полем взаимодействия разных культур и субкультур, как систему, элементы которой связаны между собой отношениями транзитивности.

Ключевые слова: философия, проектирование, конструктивизм, этическая версия, цивилизация как конструкт, «цивилизация жизни», самоотречение, самосовершенствование, транскультурность, транзитивность.

Цитирование: Резник, Ю.М. Проектирование цивилизации: конструктивистская и этическая версии, перспективы для России / Ю.М. Резник // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №2(36). – С.149-162. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-149-162.

Введение

В статье рассматриваются возможности проектирования локальной цивилизации. Под такой цивилизацией понимается исторически сложившаяся система общества (или обществ), объединённая общим геополитическим положением, близкой культурой, родственными языковым пространством, сходным хозяйственным (экономическим) укладом, сопоставимым политическим устройством и менталитетом. У истоков теории локальных цивилизаций стояли Н.Я. Данилевский, О. Шпенглер и А. Тойнби. Их идеи нашли широкое распространение в философской литературе и получили развитие [1].

По разным оценкам в современном мире насчитывается около десяти локальных цивилизаций. Так, С. Хантингтон рассматривает западную, индуистскую, синскую (или китайскую), исламскую, латиноамериканскую и японскую. Отдельно он называет потенциальные цивилизации: африканская и восточно-европейская или православная. Статус российской цивилизации пока не определён. О. Шпенглер относился к России как к зарождающейся культуре, у которой есть будущее. С. Хантингтон называет Россию, с одной стороны, «разорванной» цивилизацией, а с другой, - трансцендентной. Последнее он объясняет тем, что в отличие от Запада, который в первую очередь связывает мир людей с миром вещей, «для русской культуры характерно первичное связывание мира людей с миром идей (иррациональная, информационная деятельность)» [1]. Такая цивилизация может быть отнесена также к потенциальным цивилизациям, процесс строительства которой ещё не завершён.

В современной философии принято выделять разные критерии образования или создания локальных цивилизаций. Часть философов апеллируют к духовным или трансцендентным основаниям (О. Шпенглер, С. Хантингтон и др.). Другая часть исследователей полагает, что создание таких цивилизаций носит рукотворный характер и зависит от исторического творчества масс, прежде всего от их культуротворящей энергии (см. например [2]). В качестве ещё двух оснований возникновения или создания локальной цивилизации можно назвать, с одной стороны, следуя Н.Я Данилевскому, её реальную или потенциальную способность стать субъектом всемирной истории, а с другой, - готовность отвечать на вызовы глобального мира и её самодостаточность.

У проектного подхода к созданию цивилизаций имеются свои противники или критики. Некоторые из них вообще отрицают цивилизационный подход, рассматривая его как подход, образовавшийся в результате смешения терминов социальных и культурных систем [3], как «идеологию слабых», разрабатываемую в основном в развивающихся и постсоциалистических странах [4], как псевдотеорию, имеющую дело с неопределённым по смыслу понятием «цивилизация» [5], как пока ещё не состоявшуюся методологию [6] и др.

1 Можно ли проектировать цивилизацию и какая философия для этого нужна?

Философию можно рассматривать как самосознание эпохи и даже цивилизации. Поскольку мир стремительно меняется, то ему нужны не только новые модели цивилизационного развития, но и другая философия. Речь идёт в первую очередь о построении комбинации идей, принадлежащих тем философам прошлого и настоящего, которые сумели опередить своё время и заглянуть в будущее. Но философию ещё нужно успеть подготовить. Поэтому «философская кухня» должна работать непрерывно, предлагая свежие идеи и участвуя в общем деле, о котором писал русский философ Н.Ф. Фёдоров [7]. И сегодня таким делом является для нас участие в цивилизационном строительстве России.

История показывает, что иметь собственную цивилизацию дано не каждому великому народу или обществу и даже группе обществ. Можно отметить два основных процесса противоборства цивилизаций: между западной цивилизацией, центром которой сейчас выступают США, и китайской, с одной стороны; западной и исламской цивилизациями, с другой. Россия после социально-исторической катастрофы 1990-х гг. пока возрождается как цивилизация, хотя уже и вовлечена в это противоборство. Очевидно, что ей нужна своя философия, опирающаяся на мировой опыт и вместе с тем обосновывающая собственные шаги России в цивилизационном строительстве.

Никто не предполагал, что в наш мир так внезапно ворвётся пандемия и вызовет столь масштабный цивилизационный кризис и, в первую очередь, кризис мировоззрения. Филосо-

фы также оказались не готовы к такому повороту событий. А главное – не обнаружилось новых идей, способных помочь разобраться в ситуации и преодолеть мировоззренческий кризис.

Оказывается, не только цивилизация, чтобы выжить, должна иметь определённые ограничения, но и философия, которая выступает всеобщей формой её рефлексии. И ограничения в философии могут быть, как минимум, двух типов: логические и этические. Хотя имеются и другие: онтологические, культурные, идеологические и пр. Детальную конкретизацию логических ограничений философии приводит Н. Гудмен [8]. С его позиций проектирование цивилизации философией возможно лишь при выполнении двух условий:

- если под проектом понимается образ или замысел цивилизации, описанный или обоснованный в тексте, а не действительность цивилизационного строительства;
- если философия, которая берётся за такое дело (проект), отдаёт себе отчёт в необходимости учёта ограничений, налагаемых на процесс исследования и проектирования цивилизационного развития.

К этическим ограничениям философии относится, в частности, её совесть. Поэтому осмысление цивилизационного будущего той или иной страны и способов его построения требует от авторов проектов, прежде всего, философской совести. В отсутствие какого-либо подходящего и надёжного критерия ясности каждый мыслитель вынужден обращаться лишь к своей философской совести [9]. Именно такая ситуация сложилась сегодня, когда мир, который долгое время считался комфортным, стал рушиться на наших глазах. В нынешней ситуации должны измениться наши представления об этом мире. Вот почему так важен вопрос о способах создания миров, в т.ч. цивилизаций.

Как понимать философскую совесть? Например, Гудмен призывает воздержаться от общих суждений и принципов, от желания сразу и без предварительной объяснительной базы построить «лучший из миров». Философская совесть - это не только «фигуральный отказ», т.е. воздержание от слишком абстрактных и не всегда обоснованных суждений о мире, но и внутренний камертон, позволяющий нам строить предположения о допустимом изменении в мире с точки зрения принятой в сообществе философов системы установок (этического кодекса). Такой системой отсчёта является в какой-то мере «этика благоговения перед жизнью» А. Швейцера [2]. В отличие от него Гудмен интересуется языком философии, а не её этикой: «Философия, по моему мнению, должна заниматься скорее прояснением научного и повседневного языка, нежели описанием научных или повседневных процедур» [8].

Очевидно, что прояснение языка к философской совести прямого отношения не имеет. А что же имеет? Интуиция должного (или не должного), которая является мгновенной реакцией человека на совершаемые им поступки или отрефлексированные помыслы с точки зрения «внутренних» индикаторов совести. Последняя нужна не для того, чтобы отсеивать неистинные или неправильные суждения. Для этого достаточно умения логически мыслить. А для того, чтобы делать правильный (с учётом принятых ценностных критериев) жизненный выбор (не умножать зло, не наносить вред окружению и т.д., и т.п.). И для такого выбора одного логического ограничения уже недостаточно.

Поэтому нужно различать два подхода: логический, когда речь идёт о процедурах мышления, и этический, ориентированный на отношение к другому как к самому себе. Эти разные по своей сути способы создания миров (цивилизаций) не следует совмещать, поскольку они относятся к разным, хотя и взаимосвязанным, уровням метафилософии, соответственно – логике и этике самой философии.

Цель данной статьи - выявление тех установок, которыми руководствуются исследователи при конструировании миров и которые можно применить к проектированию цивилизаций. В качестве *предмета исследования* рассматриваются способы описания проектов цивилизаций.

лизаций, которые по тем или иным причинам выбирают эти исследователи. *Проект* – это всегда выбор из множества альтернатив. Цивилизационный проект есть проект цивилизации, которая ещё не сложилась в конкретном виде, и её можно выбирать, как и образ своей жизни. Если посмотреть на российскую цивилизацию, то о ней нельзя рассуждать как о чём-то завершённом. При этом можно полагаться на логику, а можно – на совесть. Её трудно отнести к западной цивилизации и столь же затруднительно определить как евразийский тип цивилизации. В данном случае важна не её качественная определённость, а те логические или этические способы, которые применяются при проектировании любых локальных цивилизаций.

Структуру проекта цивилизации можно представить в виде следующей схемы: *сфера проектирования и её желаемые параметры* (конкретное общество или система обществ, которые могут возникнуть при определённых условиях), *способы описания* цивилизационных систем (технологии мышления и проектной деятельности), *пути выбора альтернатив* цивилизационного развития и, наконец, усилия по *согласованию* избранного варианта *проектных действий*. Представляют интерес степень разработанности этих блоков у представителей обоих подходов к цивилизационному проектированию, а значит – ответы на главные вопросы: «Как можно мыслить, чтобы получить логически непротиворечивое и достаточное по полноте описание проекта?» и «Зачем и для кого это надо делать?».

2 Цивилизация как конструкт.

Как можно мыслить проект цивилизации (конструктивистская версия)

2.1 Предмет аналитического проектирования - реальные и возможные миры

С точки зрения конструктивизма, цивилизация является таким же конструктом, как и природа. Для Канта [10] и его последователей - это результат особого способа восприятия действительности. В известной степени конструктивизм есть философия построения и обоснования представлений о мире. Поэтому в нём невозможен поиск всеобщих законов природы и общества. Здесь акцент смещается на изучение ситуации субъекта познания, которая рассматривается в зависимости от решаемой им проблемы.

Конструктивизм не проводит чёткую границу между возможными и реальными мирами. «Рассуждение о возможных вещах не заставляет нас выходить за границы реального мира. То, что мы часто ошибочно принимаем за реальный мир, есть лишь одно из его конкретных описаний. А то, что мы ошибочно считаем возможными мирами, есть в равной степени истинные описания реального мира, но только в других терминах. Мы привыкли считать реальный мир одним из множества возможных миров. Это представление надо исправить. Все возможные миры заключены в одном реальном мире» [8].

Реальным становится лишь то, что субъект считает реальным, выбирая из множества вариантов возможных миров. Это можно отнести и к логике построения проектов цивилизационного развития. Так, например, в мире возможностей существует несколько проектов российской цивилизации – коммунистический, либеральный, евразийский, панславянский, православный и др. Несмотря на множественные попытки, предпринимавшиеся сверху, ей не удалось привить черты западной или либеральной цивилизации. Они оказались не органичны её природе. Не смогла она удержать и ореол коммунистической цивилизации. Поэтому цивилизационное строительство России ещё не завершилось.

В понимании конструктивистов привычный мир перестаёт быть реальным и исчезает, как бы растворяется в тумане, если знание о нём не подтверждается истинными суждениями. Прежде чем описывать новый, ещё не родившийся или не оформившийся мир, необходимо выработать соответствующие ему «правила игры» и предостеречь самих себя от необдуман-

ных решений. Следовательно, в конструктивистской версии проекта цивилизация возникает как воображаемый мир в представлениях людей, а затем уже осуществляется как конвенциональная реальность.

Каким же будет мир после мирового кризиса, предстоит ещё осмыслить. Прежний мировой порядок, в т.ч. ныне существующая историческая комбинация локальных цивилизаций, уходит в прошлое. Поэтому интересует способ конституирования нового мира, который необходим для того, чтобы разобраться в перспективах цивилизационного развития.

2.2 Способы создания миров

Конструктивистов интересуют в первую очередь не эмпирические объекты, не миры как универсумы или цивилизации, а логические процессы, на которые опираются повседневное мышление и научные исследования. Поскольку речь идёт о специальных правилах и процедурах, на которых строится мышление, то можно их условно назвать технологиями мышления.

Важнее то, при помощи каких символических средств создаются миры, чем их собственная онтология, в какой системе координат то или иное предсказание о мире может быть истинным. Видение мира предопределяется во многом способом его описания, которое никак не зависит от самого мира, а скорее зависит от субъекта. Получается, что мир конституируется субъектом посредством того или иного способа описания.

Суть «онтологии» Гудмена заключается в следующем: «Наш универсум состоит скорее из способов описания мира, чем из самого этого мира или миров». Поэтому «онтологические предложения имеют истинностное значение только относительно «истолкования» или «трактовки» объектов мира, действительности и т.д. Иными словами, указание на «мир» имеет смысл только в том случае, если оно соотносится с какой-то системой описания (онтологический релятивизм)» [8].

Такое видение мира, в т.ч. будущего цивилизации, определяется способом его описания. Но нет ни одного «правильного» описания мира, которое могло бы претендовать на истинность. Каждое описание нужно проверять при помощи логических средств. И оно может быть истинным или не истинным только в данном контексте. Поэтому можно предположить, что существующие ныне цивилизационные проекты России не обнаружили до сих пор своей истинности и не стали реальными мирами. Их актуальность зависит от их истинности и востребованности.

Гудмен утверждает, что единство мира состоит не в признании одной и всеобъемлющей картины, которая включает все возможные и правильно обоснованные описания, а в поиске «общей организации, охватывающей все эти версии». Создание мира есть ни что иное, как переделка уже имеющихся миров [8]. Россия находится в процессе цивилизационного развития. В ней наблюдается противоборство разных проектов, в т.ч. с конкуренцией западного и «почвеннического» проектов.

Конструктивисты разделяют мир-в-себе (объективный мир) и мир-для-нас (субъективный мир), предпочитая связывать описания миров с реальными мирами. Приходится признать, что в природе существуют миры или то, что может быть ими названо, которые ещё не описаны и остаются для субъектов неведомыми «чёрными дырами». Это не отменяет факта их существования. Вместе с тем нельзя принять и то, что понятие «мир» изобретено людьми лишь для той части действительности, которая уже описана. А самого мира, как такового, вне описания нет, что это – всего лишь конструкт. То, как обозначаются явления окружающей действительности и сами явления, – это разные вещи. Не стоит ставить знак равенства между пониманием мира как познавательной процедурой и процессами создания реальных миров.

Что же дают технологии мышления кроме установления соответствия между знаком и означаемым? Конечно, прежде всего, обоснование правомерности употребления того или

иного языка в конкретной познавательной ситуации. Так, например, мы пользуемся одновременно разными языками: языком науки или(и) языком обыденной речи, каждому из которых соответствуют свои технологии мышления. И тогда возникает своего рода эпистемологический диссонанс, например, в ситуации, когда мы используем не просто разные понятия, не совместимые в данной системе познавательных координат, но и различные концептуальные аппараты, определяющие своеобразие наших подходов.

Размышляя о способах создания цивилизаций, следует учитывать то, на языке какого философского или научного направления они описаны. Их достоверность и истинность зависят не от убедительности или эмоциональной привлекательности позиции, а от её обоснованности и логической выверенности в рамках данного подхода. Однако люди выбирают тот или иной цивилизационный проект «душой» или «сердцем», а отнюдь не только умом.

2.3 Выбор проектных альтернатив и поиск конвенциональных решений

С точки зрения конструктивистского подхода нет никакого основания полагать, что тот или иной цивилизационный проект в сегодняшней России верен. Каждый такой проект представляет собой одну из версий цивилизации, которая принимается (или не принимается) конвенциональным путём. И пока субъекты цивилизационного строительства разобщены, не может быть и речи о единстве российской цивилизации. На данном этапе исторического развития их можно рассматривать скорее как агентов разных проектов. И не факт, что проект, предлагаемый и корректируемый время от времени официальным политическим руководством страны («партией власти»), окажется практически реализуемым.

Однако альтернативность не отменяет и даже предполагает тему идентичности, в т.ч. цивилизационной. «Идентичность или постоянство в мире есть идентичность относительно того, чем является предмет в пределах организации этого мира» [8]. Цивилизационная идентичность объединяет широкое сообщество людей, придерживающихся общего для них культурного и символического порядка. При этом у них может быть разный социальный порядок, если речь идёт о цивилизации как группе стран (или системе конкретных обществ), обладающих государственным суверенитетом и придерживающихся общей для них культурной рамки (идентичности).

Воображаемых миров, как и цивилизационных проектов, существует ровно столько, сколько в обществе имеется групп влияния, способных самостоятельно производить и транслировать в культуру собственные символические порядки. Наличие одного социального порядка никак не исключает существование различных символических систем. Пока имеются агенты или носители этих порядков, до тех пор будут воспроизводиться и их цивилизационные предпочтения. Чрезвычайно трудно представить, что в России в ближайшей перспективе сможет победить какой-либо один цивилизационный проект.

У конструктивистов мир не «хороший» и не «плохой», а такой, каким его видит субъект познания, который понимает цивилизацию как конструкт, подлежащий описанию.

3 «Цивилизация жизни». Зачем и для кого нужно её проектировать (этическая версия)

3.1 Цивилизация как мир благоухающей жизни

На вопрос: зачем и для кого нужен проект цивилизации, Швейцер отвечает: он нужен для людей и улучшения качества их жизни. Ничего подобного нет у конструктивистов, которых интересует лишь процесс размышления об объекте и средства, ведущие к получению достоверных результатов. Швейцер предлагает иную трактовку мира, в которой люди – его

живая и мыслящая часть – подчиняются законам жизни. Настоящее время бросает человеку вызовы, вынуждая его порой служить весьма сомнительным целям. И нужно противопоставить этим вызовам другой взгляд на будущую цивилизацию¹. В полной мере это относится и к перспективам дальнейшего цивилизационного развития России.

Размышляя о состоянии западной цивилизации, А. Швейцер приводит следующий тезис: «когда общество воздействует на индивида сильнее, чем индивид на общество, начинается деградация культуры... Происходит деморализация общества, и оно становится не способным понимать и решать возникающие перед ним проблемы. В итоге рано или поздно наступает катастрофа» [2]. Деградация культуры приводит к тому, что её тело «деревенеет», а содержание зачастую выхолащивается.

Этика жизни утверждает, что каждый имеет не только право на жизнь, но и право на самовыражение. Этот тезис расходится с гегелевским положением о том, что только народ как носитель объективного духа обладает всей полнотой прав в государстве [11]. Он может передать эти полномочия правительству или государю. Права же отдельного индивидуума, кроме основополагающих прав и свобод, которые вытекают из природы всеобщего, должны быть ограничены законом.

В критические моменты цивилизационного развития нельзя допускать отстранения индивида от участия в делах общества. «Поскольку мы находимся именно в таком положении², каждый человек должен в наших условиях проявить большую, чем до сих пор, личную решимость и взять на себя доступную только индивиду функцию выдвижения духовно-этических идей. Ничто другое, кроме такого поворота в сознании множества людей, не в состоянии спасти нас» [2].

Швейцера беспокоила неразвитость общественного мнения в ситуации нарастающей культурной катастрофы. Именно такую катастрофу переживает сегодня весь человеческий мир. И дело не только в опасной пандемии, но и в пересмотре некоторых базовых правил человеческого общежития, в т.ч. сворачивание прав рядовых граждан на участие в государственном управлении. Швейцер справедливо утверждал, что общественное мнение «поддерживается прессой, пропагандой, организациями, а также имеющимися финансовыми и другими средствами подкупа и нажима» [2]. Он призывал выступить против господствующего и навязанного сверху общественного мнения, противопоставив ему мнение самого человека. А это значит, что он вправе выбирать и путь цивилизационного развития своей страны.

3.2 Способы создания «цивилизации жизни»: благоговение перед жизнью, культуротворчество и переосмысление жизни

Если принять «*благоговение перед жизнью*» в качестве руководящего принципа цивилизационного развития, то это несколько не будет противоречить духу народа. На самом деле это как раз то, что, по Швейцеру, требует от человека сам дух. Но это не гегелевский дух, а дух перемен, побуждающий нас по-новому взглянуть на самих себя и на свою цивилизацию. Перспективы цивилизационного развития России нужно сделать одним из приоритетов для академической науки.

Сегодня околонучная бюрократия требует от нас, как и во времена Швейцера, не только «заниматься конкретной проблематикой и констатированием частных результатов исследований» [2], но и относиться к науке как к средству преобразования исследовательских результатов в систему формальных показателей (например, в показателях публикационной ак-

¹ Об ином цивилизационном выборе говорят участники Всемирного экономического форума - The Great Reset: A Unique Twin Summit to Begin 2021. - <https://www.weforum.org/great-reset/about>. Прим. ред.

² В состоянии деморализации. Прим. автора.

тивности), это особенно актуально. Однако такая наука не поднимает авторитет разума и несёт в себе бездумное мировоззрение.

Путь к новой цивилизации лежит через самоотречение и самосовершенствование [2]. Это предполагает формирование *культуротворческого мировоззрения*, которое должно быть мыслящим, превращающим человека в подлинную личность, оптимистичным (жизнеутверждающим) и гуманным (человекообразным). Для достижения этой высокой цели надо вначале провести ревизию убеждений и идеалов современного человека³.

Чтобы построить новую цивилизацию как более человекообразный мир, людям необходимо обновить свои убеждения и идеалы, привести их в соответствие со своими повседневными делами. А для этого существует вполне надёжный критерий: «Мои желания и дела обретают смысл и ценность лишь в той мере, в какой цель моей деятельности согласуется со смыслом моей жизни и жизни других людей» [2].

Какое отношение смысл жизни имеет к выбору пути цивилизационного развития? Самое непосредственное, что важно в ситуации размытости мировоззрения и отсутствия чётких цивилизационных представлений. Сейчас, находясь в вынужденной изоляции, люди пытаются переосмыслить собственную жизнь и понять то, ради чего стоит жить. Поэтому мировоззрение следует толковать как *жизневоззрение*, в котором «мир предстаёт нам во всех отношениях загадочным проявлением универсальной воли к жизни» [2]. С этой точки зрения, смысл жизни есть «мыслящая себя воля к жизни» и стремление выразить себя, свою самость во всех проявлениях. Он интегрирован в картину мира человека и составляет «ядро» его цивилизационных представлений. «Моя жизнь в самой себе носит свой смысл, который состоит в том, что я живу высшей идеей, проявляющейся в моей воли к жизни, – идеей благоговения перед жизнью» [2]. Разве это не исчерпывающий ответ на вопрос о смысле жизни и его значимости для формирования цивилизационных предпочтений? Каждый человек хочет жить в гармонии с миром и другими живыми существами.

Этика помогает человеку осознать ценность самой жизни и выработать к ней трепетное, личностное отношение. Никто не хочет уйти из жизни нелепо и бессмысленно, как это происходит в период пандемий или иных массовых бедствий. Жизнь одинаково дорога всем – молодым и пожилым, богатым и бедным и пр.

Конечно, всё это похоже на очередную социальную утопию. Но разве такая утопия, которую Ю. Хабермас [12], обеспокоенный в последние годы проблемой утраты человеческого достоинства, назвал бы реализуемой утопией, отличается чем-то от коммунистической или либеральной утопий? На взгляд автора статьи, её преимущество по сравнению с ними состоит в том, что она переводит социально-классовые противоречия в этические и ставит на первый план ценность жизни, а не эфемерное общественное благо или анонимный свободный рынок. С этой точки зрения, жизнь перестаёт восприниматься как ресурс или капитал (например, как в либеральной концепции человеческого капитала), или как полигон борьбы за абстрактные идеалы, ради которых стоит жертвовать собой (как в любой тоталитарной идеологии). Она становится, прежде всего, пространством творчества и самореализации человека.

Изменяется и отношение к самой жизни. Из средства она переводится постепенно в цель или смысл бытия. Культура перестаёт быть социоцентричной или этноцентричной и становится этико-ориентированной, сконцентрированной вокруг основного вопроса – поиска смысла жизни, соразмерного бытию человеку и вызывающего к его воле к жизни.

Этика Швейцера провозглашает ценность всех форм жизни и возлагает на человека ответственность за их сохранение и развитие во всём мире. Поэтому её исходная предпосылка

³ См. также труды классиков марксистско-ленинской философии. *Прим. ред.*

такова: «смысл человеческой жизни может быть постигнут только в рамках смысла всего мира» и, прежде всего, смысла существования всего живого [2]. Не случайно М. Хайдеггер полагал, что человек есть мирское или мирностное существо, а его бытие-в-мире (как присутствие) – основной предмет философии [13].

Швейцер отрицает всякие попытки вывести смысл жизни из смысла бытия. Для Гегеля, как известно, смысл бытия определяется духом, а всеобщего бытия – абсолютным духом [11]. Исходя из его логики, человек по природе своей наделён субъективным духом, который распадается на сознание и разум, теоретический и практический дух. Поэтому смысл индивидуальной жизни не исчерпывается субъективными целями. В него проникают трансцендентные смыслы бытия, которые, конечно, каждый из философов понимает по-своему.

3.3 Этика как инструмент согласования действий по проектированию «цивилизации жизни»

Этика благоговения перед жизнью Швейцера даёт не только представления о должном в цивилизационном развитии, но и предлагает средства согласования проектных действий. Бытие нынешней цивилизации подчинено интересам системного мира, понимаемого Ю. Хабермасом в терминах экономического расчёта и политической целесообразности, которым подчинён сегодня жизненный мир [12]. Этика Швейцера устанавливает приоритет интересов жизни и жизненного мира человека во всём. Именно на основании «жизнь среди другой жизни» и построена его цивилизация жизни⁴.

Во-первых, следует помнить, что цивилизация жизни – это, прежде всего, *общество (или система обществ) самоограничения и самоотречения*. И это самоотречение индивидуально-бытия осуществляется ради всех других явлений бытия и, прежде всего, бытия живого сущего. Такое бытие «должно совершаться не только ради человека, но и ради других существ, вообще ради любой жизни, встречающейся в мире и известной человеку» [2].

Как эти положения Швейцера перевести в практику цивилизационного проектирования России? Никто из представителей ныне действующей элиты не готов стать на путь самоограничения и самоотречения. Единственный выход – действовать путём просвещения, усиливать экологическую составляющую общественной идеологии и образования.

Во-вторых, Швейцер рассматривает цивилизацию жизни как *систему, в которой преобладают процессы самосовершенствования*. В их основе лежит доброжелательное и участливое отношение ко всем живым существам. До сих пор этика выступала как пассивное отношение человека к миру. Чтобы вывести человека из круга пассивности, нужна этика благоговения перед жизнью, согласно которой требуется привести своё становление в подобие миру и взять ответственность за него.

В-третьих, цивилизация жизни у Швейцера – это *цивилизация благоговения перед жизнью*. Её смысл «заключается, следовательно, в том, что я испытываю побуждение выказывать равное благоговение перед жизнью как по отношению к моей воле к жизни, так и по отношению к любой другой. В этом состоит основной принцип нравственного. Добро – это то, что служит сохранению и развитию жизни, зло есть то, что уничтожает жизнь или препятствует ей» [2]. И здесь принципиально то, что поведение человека считается нравственным, если он помогает любой жизни и воздерживается от того, чтобы причинить даже незначительный ущерб живому. Цивилизация жизни, по Швейцеру, есть, прежде всего, «безграничная ответственность за всё, что живёт» [2]. Она включает в себя любовь к жизни во всех её проявлениях и противостоит утверждению одной жизни за счёт другой.

⁴ Термин «виталистская цивилизация» не используется, поскольку термин «витаальный» обозначает собой жизнь, прежде всего, в её биологическом измерении. Не случайно он противопоставляется летальному, уходу из жизни. *Прим. автора.*

4 Россия как транскультурная цивилизация

Предварительный итог сравнительного анализа двух версий цивилизационного проекта представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пути проектирования цивилизаций и возможности их применения к опыту цивилизационного строительства современной России

Компоненты проекта	Конструктивистская версия цивилизационного проекта (Н. Гудмен)	Социально-этическая версия цивилизационного проекта (А. Швейцер)
Сфера проектирования	Цивилизация как конструкт (идеальный тип)	«Цивилизация жизни», базирующаяся на этике благоговения перед жизнью
	В России существуют разные группы влияния, придерживающиеся собственной картины её цивилизационного будущего. Но ни одна из них не пользуется широкой поддержкой населения. Не прижилась пока и модель либеральной цивилизации.	В России не сложились ещё предпосылки для построения данной цивилизации. Единственная политическая партия - «Партия жизни», инициированная «сверху», просуществовала недолго (2002-2006 гг.) и не получила поддержки электората. Однако врожденная любовь к жизни и земле делает российских людей потенциальными союзниками этого проекта.
Способы создания	Технологии мышления, при помощи которых описываются и создаются символические миры	Социально-этические практики: благоговение перед жизнью как поворот в сознании большинства людей, способный вывести их из состояния деморализации; культуротворчество и глубокое переосмысление своей жизни.
	В России имеется множество конкурирующих друг с другом описаний цивилизационного развития. Но ни один из них не может претендовать на «правильное» описание цивилизационного будущего страны.	Учитывая культурно-исторический опыт России, этический критерий цивилизационного развития страны будет трудно реализовать на практике. Традиционно считается, что ценность жизни обычных людей в глазах властвующей элиты не очень высока.
Выбор альтернатив	Определение истинных суждений о мире и отбраковка «неправильных» представлений в рамках данного подхода (идея сосуществования многих миров и разнообразия типов идентичности).	Формирование личной и социальной ответственности людей за всё живое на планете; поддержание и развитие всех форм жизни; самоограничение, самоотречение и самосовершенствование как практики переустройства общества на иных основаниях.
	Поиск общей, «сквозной» картины будущего российской цивилизации, объединяющей западные и «почвеннические» проекты, пока не завершился. В данной же версии он и не может быть завершен окончательно.	Выбор «цивилизации жизни» в России ограничивается, с одной стороны, неспособностью властей стать на путь самоотречения и служения людям, а с другой - отсутствием условий в обществе для самосовершенствования человека и недостатком культуры бережного отношения к жизни.
Пути согласования действий	Определение конвенциональных «зон согласия» в построении различных безоценочных допущений о мирах (цивилизациях).	Переоценка жизненных приоритетов человека и общества; запрет на любые акты насилия и уничтожения жизни на планете; выработка новых правил человеческого общежития.
	По данной версии (разнообразие цивилизационных проектов и типов идентичности), в принципе, невозможно достичь общенационального консенсуса в России.	Необходимо усилить «жизненную политику» различных субъектов управления в России, расширив её пространство от обеспечения жизнедеятельности отдельных групп к развитию самостоятельности людей, связанной с культивированием всех форм жизни.

Основной вывод из анализа проектных версий заключается в том, что Россия продолжает процесс цивилизационного строительства. Конечно, она может ещё какое-то время дрейфовать в сторону западной цивилизации или постепенно сближаться с восточными цивилизациями, в т.ч. с китайской, но её сущностная специфика состоит в другом.

Во-первых, есть основания полагать, что российская цивилизация, складывающаяся уже целое тысячелетие на стыке мировых культур и впитавшая в себя многие из их достижений, не может не быть ничем иным, как *транскультурным феноменом*⁵. Это во многом обусловлено бесконечными переселениями людей и интенсивными контактами разных культурных групп и этносов на территории России. Однако в ходе перемещений в географическом и социальном пространстве процессы культурной ассимиляции не возобладали. Так появился феномен «межкультурья» или «сквозной» культуры («транскультуры»).

В этом заключается одновременно сила и слабость цивилизации в России. Транскультурный подход, как и сам термин «транскультура», не новы в научной литературе⁶. Он указывает на виртуальную принадлежность одного индивида (или группы) ко многим культурам одновременно. Именно бытие на границе разных культур позволяет использовать нераскрытые возможности каждой из них, превращая человека в субъекта межкультурья. Слабостью же транскультурного типа цивилизации можно считать размытость границ между входящими в неё культурными территориями (регионами) и отсутствие жёсткого культурного «ядра» с присущими ему центробежными тенденциями.

Однако можно предположить, что таким же транскультурным характером обладает и сама русская культура, которая также не является монолитной или однородной по своему составу. Благодаря этому свойству или, возможно, вопреки ему, она, тем не менее, каким-то удивительным образом «стягивает» другие культуры в единое целое, создавая благоприятную для разнообразного творчества среду. Быть русским по культуре не означает обязательно быть россиянином (не стоит путать с гражданином РФ), но нельзя при этом не питать культурную близость к татарам, евреям, чеченцам и другим этносам. А это значит, что русский в культурном смысле человек есть также немного татарин, еврей, чеченец и пр. С раннего детства он впитывает в себя многое из других национальных и региональных культур, а во взрослой жизни начинает вести себя уже с опытом иного в его культуре. Может быть в этом и состоит загадка русской души?

Во-вторых, российская цивилизация характеризуется транзитивностью, так как соотношения между её элементами (региональными культурами и субкультурами) можно описать при помощи дедуктивного умозаключения: из отношений $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, следует отношение $A \rightarrow C$. Это относится в первую очередь к пограничным территориям и регионам России, которые дают нам необычайно яркие иллюстрации не только транзитивности, но и транскультурности. Транзитивными по сути являются практически все крупные регионы Российской Федерации, которые связаны между собой отношениями добрососедства и взаимовыгодного сотрудничества. Многие из них выступают посредниками между другими регионами и зарубежными странами, а также представляют интересы своей страны в международном сообществе. Такие регионы не совпадают по своим границам с территориями субъектов РФ, а оказываются ближе по географии к федеральным округам. Многие из них объединены общим географическим положением и культурным пространством (например, регионы Урала или Поволжья, Западной Сибири или Восточной Сибири). Такая структура несколько отличается от привычного территориально-административного деления РФ или США, где каждый штат обладает суверенитетом, имеет свою конституцию и органы власти.

⁵ Транскультурный (от лат. trans – сквозь, через) означает в буквальном смысле «проходящий сквозь культуру или культуры». *Прим. автора.*

⁶ В книге Элен Берри и Михаила Эпштейна «Транскультурные эксперименты: Российская и американская модели творческой коммуникации» [14] приводится определение транскультуры как «раздвижение границ этнических, профессиональных, языковых и других идентичностей на новых уровнях неопределимости и “виртуальности”». Транскультура создаёт новые идентичности в зоне размытости и интерференции и бросает вызов метафизике самобытности и прерывности, характерной для наций, рас, профессий и других устоявшихся культурных образований, которые закосятся, а не рассеиваются в “политике идентичности”, проводимой теорией многокультурия». *Прим. автора.*

В-третьих, цивилизационное своеобразие России во многом определяется особой, *органической связью жизни и земли в бытии людей*. Земля для российского человека – это и есть главное место его жизни. На этом построено огромное количество мифов, легенд и народных преданий. Ведь земля для большинства народов нашей страны является самым важным источником жизни. С освоения земли и начинается процесс становления цивилизации. Поэтому без обретения чувства родной земли («родины») не может быть и полноценной жизнь человека, а его социализация считается прерванной или нарушенной.

Так, жители многих регионов России обладают собственной культурной идентичностью, в которой акцент делается не на этнической принадлежности, а на приверженности культурным традициям и обычаям своей земли, края, территории (например, «волжанин», «сибиряк», «уралец», «северянин» и пр.). Но это крупные культурно-региональные типы людей, а существует также множество частных идентичностей, связанных с особенностями земли или края. Этим, как правило, принято гордиться, подчёркивая культурный статус своей причастности к родной земле.

Таким образом, российская цивилизация обладает всеми признаками локальной цивилизации, располагая вместе с тем культурно-географическими особенностями. В силу огромной территории, природного ландшафта и многообразия региональных, этнических культур в ней сложился особый, интегративный тип культуры (транскультура), своя система отношений между регионами (транзитивность) и органическая связь жизни и земли в бытии российских людей. Именно эти свойства делают нашу цивилизацию одним из уникальных образований в современном мире [15].

Заключение

Проанализированы две версии проектирования локальных цивилизаций: конструктивизм (Н. Гудмен) и этика (А. Швейцер), а также использование сформулированных инвариантных проектных процедур (сфера проектирования, способы создания и пр.).

Удалось приблизиться к пониманию российской цивилизации как транскультурного феномена, вбирающего в себя и приводящего в движение элементы разных региональных культур и субкультур благодаря свойству транзитивности. Отмечено усиление роли центров глобального цивилизационного развития (США, Западная Европа, Китай).

Обобщены некоторые выводы относительно места и роли философии в представленных проектных версиях цивилизации.

Представлены некоторые очертания цивилизационного будущего России. Автор полагает, что прежнего, относительно комфортного мира, уже не будет, что нужны разные философии, в т.ч. философия русских мыслителей (Н. Фёдоров, Вл. Соловьёв, Н. Бердяев и др.), А. Швейцера, Н. Гудмена и др.

Список источников

- [1] Хантингтон, С. Столкновение цивилизаций / С. Хантингтон. М.: АСТ, 2003. – 868 с.
- [2] Швейцер, А. Благоговение перед жизнью / А. Швейцер. – М.: Прогресс, 1992. – 576 с.
- [3] Сорокин, П.А. Человек. Цивилизация. Общество / П.А. Сорокин. Изд-ство политической литературы. 1992. 544 с.
- [4] Валлерстайн, И. Анализ мировых систем: Современная миросистема: политическая экономия и геокультура. Дилеммы мирового политического развития и общественные науки. Пер. с англ. URSS. 2020. – 400 с.
- [5] Семёнов, Ю.И. Философия истории. (Общая теория, основные проблемы, идеи и концепции от древности до наших дней) / Ю.И. Семёнов. — М.: Современные тетради, 2003. — 776 с.
- [6] Яковенко, И.Г. Цивилизационный анализ, проблема метода / И.Г. Яковенко // Проблемы исторического познания. — М.: Наука, 1999. — С.84—92.

- [7] **Фёдоров, Н.Ф.** Сочинения / Н.Ф. Фёдоров. – М.: Мысль, 1982. – 711 с.
- [8] **Гудмен, Н.** Способы создания миров / Н. Гудмен. – М.: Идея-Пресс, Логос, Практис, 2001. – 376 с.
- [9] **Goodman, N.** Fact, Fiction and Forecast / Nelson Goodman. University of London 1955.
- [10] **Кант, И.** Критика чистого разума / И. Кант. URSS. 2018. - 624 с.
- [11] **Гегель, Г.** Энциклопедия философских наук / Г. Гегель. В 3-х т. Т. 3. Философия духа. – М.: Мысль, 1977. – 471 с.
- [12] **Хабермас, Ю.** Демократия. Разум. Нравственность / Ю. Хабермас // Московские лекции и интервью. – М.: АО «КАМИ», 1995. – 250 с.
- [13] **Хайдеггер, М.** Время и бытие / М Хайдеггер // Статьи и выступления: Пер. с нем. – М.: Республика, 1993. – 447 с.
- [14] **Berry, E.** Transcultural Experiments: Russian and American Models of Creative Communication / E. Berry, M. Epstein. - New York: St. Martin's Press, 1999.
- [15] **Reznik, Yu.M.** Social state and its role in the emancipation of the human Life-World / Yu.M. Reznik // Voprosy Filosofii. Issue 11, 2019, P.17-21. - DOI 10.31857/S004287440007346-5.

Сведения об авторе



Резник Юрий Михайлович, 1959 г. рождения. Окончил философский факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в 1987 г., доктор философских наук (1998), профессор, главный научный сотрудник, руководитель центра философских коммуникаций Института философии РАН (Москва). Главный редактор журнала «Личность. Культура. Общество». Сфера научных интересов: философия человека и философская антропология; социальная философия и социальная теория; теория личности. AuthorID (RCI): 74794. Author ID (Scopus): 57213142255. Адрес персонального сайта: <http://reznik-um.ru/>. E-mail: reznik-um@mail.ru.

Поступила в редакцию 05.05.2020, после рецензирования 12.05.2020. Принята к публикации 13.06.2020.

The design of civilization: constructivist and ethical versions, prospects for Russia

Yu.M. Reznik

The Philosophy institute of RAS, Moscow, Russia

Abstract

Before proceeding to civilizational construction, philosophy must define the ways of its creation and show the limitations that must be taken into account along the way. First it is necessary to answer the question of how to think in order to get a logically consistent description of the civilizational project. The subject of its analysis is the process of transformation in the language of possible worlds into the real world, logical processes and methods of description that support everyday thinking and scientific research. If there is a logically consistent description of civilization, then, therefore, we can talk about its project, claiming universal significance for a certain community of people. Another approach is based on the recognition of priority and value of life as such. This "civilization of life" is prepared by the entire course of human history and can be based on the ethics of reverence for life. Its goal is a careful and creative attitude to life in all its manifestations. It involves a turn in people's minds and is implemented through ethical practices such as self-restraint, self-denial, and self-improvement. The author tries to answer the question: can these design versions be used for civilizational construction in Russia? After all, none of them can serve as a direct prerequisite for the development of a civilizational model of another country or society, since they, in one way or another, follow from the cultural origins of Western civilization. The author of the article suggests not only not to forget about the significant difference in the cultural foundations of certain civilizations, but also to consider Russian civilization, on the one hand, as a trans-cultural phenomenon, which is the field of interaction of various cultures and subcultures, and on the other, as a system whose elements are linked by relations of transitivity.

Key words: *philosophy, design, constructivism, ethical version, civilization as a construct, «civilization of life», self-denial, self-improvement, transculturality, transitivity.*

Citation: *Reznik YuM.* The design of civilization: constructivist and ethical versions, prospects for Russia [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(2): 149-162. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-149-162.

List of Table

Table 1 - Ways of designing civilizations and the possibility of their application to the experience of civilizational construction in modern Russia

References

- [1] *Huntington S.* The Clash of Civilizations [In Russian]. Moscow: AST, 2003. 868 p.
- [2] *Shveytser A.* Reverence for life [In Russian]. Moscow: Progress, 1992. 576 p.
- [3] *Sorokin P.A.* Person. Civilization. Society. [In Russian]. Moscow: Publ. house of political literature. 1992. 554 p.
- [4] *Wallerstein I.* World-systems analysis. The Modern World System: Political Economy and Geoculture. Dilemmas of world political development and social sciences [In Russian]. Moscow: URSS. 2020. 400 p.
- [5] *Semenov YuI.* The philosophy of history. (General theory, basic problems, ideas and concepts from antiquity to the present day) [In Russian]. Moscow: Modern notebooks, 2003. 776 p.
- [6] *Yakovenko, I.G.* Civilization analysis, the problem of the method [In Russian]. Problems of historical knowledge. Moscow: Nauka, 1999. P.84–92.
- [7] *Fedorov NF.* Works [In Russian]. Moscow: Thought, 1982. 711 p.
- [8] *Goodman N.* Ways of Worldmaking. Hackett publishing company. 1978.
- [9] *Goodman N.* Fact, Fiction and Forecast. University of London. 1955.
- [10] *Kant I.* Criticism of Pure Reason. [In Russian]. Moscow: URSS. 2018. 624 p.
- [11] *Hegel G.* Encyclopedia of Philosophical Sciences. In 3 volumes V. 3. Philosophy of the spirit. [In Russian]. Moscow: Thought, 1977. – 471 p.
- [12] *Habermas J.* Democracy. Mind. Moral [In Russian]. Moscow: «KAMI», 1995. 250 p.
- [13] *Heidegger M.* Time and Being. Articles and speeches [In Russian]. Moscow: Republic, 1993. 447 p.
- [14] *Berry E, Epstein M.* Transcultural Experiments: Russian and American Models of Creative Communication. New York: St. Martin's Press, 1999.
- [15] *Reznik YuM.* Social state and its role in the emancipation of the human life-world. *Voprosy Filosofii.* 2019; 11: 17-21. DOI 10.31857/S004287440007346-5.

About the author

Yurij Mikhajlovich Reznik, born 1959. Graduated from the Philosophical faculty of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov in 1987, Doctor of philosophical science (1998). Chief research worker at the Philosophy institute of RAS, head of the philosophy, editor in chief of the “Personality. Culture. Society” scientific journal. Research interests: Human philosophy and philosophical anthropology; Social Philosophy and Social Theory; personality theory. Personal webpage: <http://reznik-um.ru/>. AuthorID (RCI): 74794. Author ID (Scopus): 57213142255. reznik-um@mail.ru.

Received May 05, 2020. Revised May 12, 2020. Accepted June 13, 2020.

Улучшение познавательной функции понятий технической диагностики с применением системного подхода и собственных свойств модели

С.В. Микони

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Предпочтение англоязычным публикациям сказалось на качестве современной русской научной терминологии. На примере одной из монографий показана потеря взаимосвязи между основными понятиями технической диагностики, следующая из их определений. К причинам такого положения следует отнести: пренебрежение основополагающими отечественными стандартами в области надёжности и диагностики, заимствование иностранных определений без учёта особенностей национального языка, утерю образного восприятия терминов и отсутствие научного подхода к формированию определений понятий. На основе определений понятий, сформулированных в основополагающих отечественных стандартах, устанавливаются связи между отказом, ошибкой, дефектом и неисправностью, иллюстрируемые наглядной структурно-функциональной моделью диагностирования вычислительной системы. Для улучшения познавательной функции понятий предлагается использовать системный подход и собственные свойства модели (функция, структура, операция). С их применением выполнен критический анализ определения понятия «тестирование», предложено определение этого понятия, удовлетворяющее системным требованиям.

Ключевые слова: отказ, ошибка, дефект, неисправность, тестирование, системный подход, собственные свойства модели, функция, структура, операция, образ.

Цитирование: Микони, С.В. Улучшение познавательной функции понятий технической диагностики с применением системного подхода и собственных свойств модели / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, № 2(36). – С.163-175. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-163-175.

Введение

За прошедшие 30 лет под натиском зарубежных технологий и публикаций оказались забытыми многие разработки отечественной науки, что проявляется, прежде всего, в используемой терминологии. В качестве примера в статье рассмотрена терминология *технической диагностики*, предложенная в недавно вышедшей монографии [1], содержащей следующие определения ряда основных понятий.

«Под *тестированием вычислительных систем* (далее ВС) понимают вид деятельности в процессе их разработки и использования, связанный с выполнением процедур, направленных на обнаружение ошибок, несоответствий, неполноты, двусмысленностей и других некорректных ситуаций при функционировании текущей версии ВС». Но «...процедуры, направленные на обнаружение ошибок, ...» применяются также в процессе контроля, диагностирования и в отказоустойчивых вычислениях ВС. Приведённое определение не позволяет отделить тестирование от этих понятий.

Ошибку (Error) автор монографии определяет как: «...*отклонение полученных результатов от правильных значений или их точности*». Согласно этому определению ошибку трудно отличить от отказа, который определён в [1] как «...*невыполнение системой какой-*

либо предопределённой функциональности, или получение ею результата, отличного от ожидаемого значения».

Слова «несоответствий, неполноты, двусмысленностей и других некорректных ситуаций» в определении понятия «тестирование» представляют собой неполный перечень следствий ошибок. Они не могут использоваться в одном смысловом ряду с понятием *ошибка*.

Ошибки связываются с неисправностью следующим образом: «...*ошибки ВС являются результатом активизации её неисправностей*». В свою очередь, «...*неисправность как математическая модель неисправного состояния ВС*» определяется следующим образом: «...*неисправность (fault) – это физический дефект, несовершенство или недостаток, который происходит в аппаратном и программном обеспечении ВС, а также в её запоминающих устройствах*». Из этого определения непонятна разница между неисправностью и физическим дефектом. В качестве примера «физического дефекта» в книге приводится пропуск одной из двух звёздочек (**), обозначающих в программировании степень числа. Физика в программировании? Совсем не по-русски звучит «*неисправное поведение*» (вполне приемлемое в духе грубой англоязычной лексики), под которым в [1] понимается неисправное состояние технического объекта. Аналогом неисправности в медицине является болезнь, а не «болезненное поведение» человека.

Очевидно, что из приведённых определений невозможно найти правильную взаимосвязь между основными терминами технической диагностики, такими как ошибка, дефект, отказ, неисправность. В связи с этим возникают вопросы: «В чём состоят задачи тестирования ВС – в поиске ошибок, отказов, дефектов, неисправностей?», «В чём их различие, и как они связаны между собой?».

Книга [1] посвящена технологиям тестирования ВС. Терминология в ней вторична, оторвана от образного восприятия и заимствована из иностранных источников. Однако основные понятия предметной области (ПрО) не зависят от технологий. Технологии совершенствуются и продуцируют свои узкие понятия, которые не должны противоречить основополагающим понятиям научного направления.

1 История вопроса

Исследования по технической диагностике ВС начались с появлением первых ламповых электронно-вычислительных машин (ЭВМ) в начале 60-х годов XX-го века. Ламповые ЭВМ обладали низкой надёжностью. Средняя наработка на отказ ЭВМ Минск-1, которую обслуживал автор статьи, составляла не более 12 часов. Актуальной задачей было построение тестов для логических схем и его автоматизация. Одними из первых в этом направлении были работы [2-5]. В них и начала формироваться терминология нового научного направления параллельно в США и в СССР на своих национальных языках.

В первых работах по тестированию логических схем использовались простейшие логические модели неисправности (malfunction): const 1 (Stuck in 1) и const 0 (Stuck in 0). В дальнейшем стали применяться термины «дефект» (Defect) и «ошибка» (Error). В частности, классификация дефектов была предложена в работе [6], а программных ошибок (Software Faults) – в работе [7]. В связи с появлением различных терминов технической диагностики возникла необходимость в их обобщении и систематизации.

В 70-е годы XX-го века были выполнены работы по стандартизации профессионального русского языка в области технической диагностики. Основополагающие понятия контроля и диагностики сложных изделий разрабатывались параллельно в авиационной и электронной отраслях отечественной промышленности и были сформулированы соответственно в терминологических стандартах [8, 9]. В стандарте [8] было сформулировано понятие «техническое

состояние» (ТС). Виды ТС: исправное и работоспособное и их противоположности – неисправное и неработоспособное ТС – были сформулированы в стандарте по надёжности [10]. В стандарте [8] они получили сокращённые названия соответственно – *исправность* и *работоспособность* (*неисправность* и *неработоспособность*). Поэтому сокращение «неисправность» никоим образом не может претендовать на «математическую модель неисправного состояния ВС» как сказано в [1]. В пятилетку качества (1976—1980 г.г.) понятие «техническое состояние» как «совокупность подверженных изменению в процессе производства и эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в определённый момент времени признаками, установленными в технической документации на этот объект», было обобщено термином «технический уровень продукции» [11]. К значениям показателей объекта было предъявлено требование технического совершенства оцениваемой продукции, т.е. сравнение с значениями, характеризующими уровень её качества.

Традиционно в авиационной отрасли приоритет отдавался проверке исправности и работоспособности летательных аппаратов (предполётный и послеполётный осмотр), что отразилось в применении термина «контроль ТС». Поиск места отказа рассматривался как вторичная процедура. В электронной отрасли в качестве базового использовался термин «техническое диагностирование». При взаимодействии отраслей появилась потребность объединить понятия контроля и диагностики в одном документе [12]. В нём контроль ТС был принят в качестве *части* процесса диагностирования, предназначенной для выделения исправного состояния M_0 объекта из множества возможных технических состояний $\{M_0, M_1, \dots, M_i, \dots, M_N\}$. Другую часть составил поиск дефекта, заключающийся в отождествлении измеренного ТС с одним из известных неисправных состояний $\{M_1, \dots, M_i, \dots, M_N\}$. Теоретическое обоснование соотношения этих и других понятий технической диагностики приведено в монографии автора статьи [13], принявшего участие в разработке стандарта [12].

Применительно к ВС необходимо различать два способа диагностирования – на специальных (тестовых) и рабочих воздействиях. В стандарте [8] первый способ назван периодическим контролем, а второй – самоконтролем. Из названий этих способов следует использование для их реализации соответственно временного и аппаратного ресурсов. В стандарте [9] техническое диагностирование было разделено на тестовое (сокращённо тестирование) и функциональное. Под функциональным понималось «*диагностирование, осуществляемое во время функционирования объекта, на который поступают только рабочие воздействия*», что соответствует понятию самоконтроль в [8]. В работе [13] термин «функциональное диагностирование» был квалифицирован как ложноориентирующий¹, и в стандарте [12] использован термин «рабочее диагностирование». Применительно к ВС ошибка обнаруживается в момент её появления. Она исправляется в рамках отказоустойчивого функционирования объекта.

2 Соотношение основных понятий технической диагностики

К основным понятиям технической диагностики относятся: ошибка, отказ, дефект, неисправность. Соотношение между ними можно установить на основе определений этих понятий, сформулированных в терминологических источниках.

В самом общем смысле *ошибка* (Error) – *непреднамеренное отклонение от истины или правил* (поведения, действия и др.) [14]. Это определение охватывает «несоответствия, неполноту, двусмысленность и другие некорректные ситуации», перечисленные в определении понятия «тестирование ВС». Слово «отклонение» в определении относится к категории «действие» (*отклоняться* от правил). Поскольку в цитированном определении не указывает-

¹ Объект реализует свои функции как на тестовых, так и на рабочих воздействиях. *Прим. автора.*

ся субъект действия, под ошибкой часто подразумевается и результат ошибочного действия, относящийся к категории «предмет». Поэтому для разделения понятий действия и его результата в технике используется термин «дефект».

Согласно [11] *дефект* – это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. В этом определении слово «несоответствие» относится к категории оценивания. Более точным и общим выглядит следующее определение: дефект – материализованный результат влияния на объект, проявляющийся в отклонении какого-либо параметра от заданного значения («каждое отдельное несоответствие свойств изделия требованиям научно-технической документации»). Источники влияния не ограничиваются ошибками проектировщика / изготовителя / пользователя. К ним относятся также воздействия внешней среды и изменение внутренней среды (старение).

Согласно [10] под отказом понимается «событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта». Это определение позволяет выстроить причинно-следственную цепочку между основными понятиями технической диагностики: источник влияния на объект (ошибка, внешняя или внутренняя среда) → отказ → дефект → неисправность. В этой цепочке неисправность взята как расширенное понятие неработоспособности. На рисунке 1 приведена структурно-функциональная модель диагностирования ВС, реализующая указанные причинно-следственные связи, наложенные на различные этапы жизненного цикла ВС (проектирование, изготовление, эксплуатация).

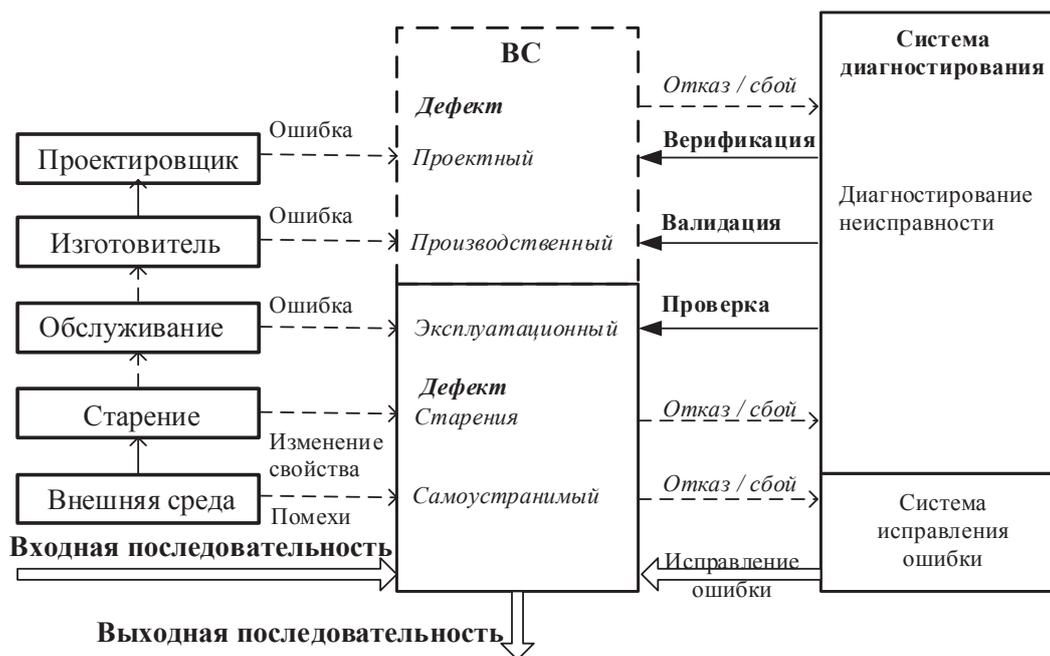


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель диагностирования ВС

В левой части рисунка 1 перечислены источники порождения дефектов ВС. На различных этапах жизненного цикла ВС ими являются проектировщик, изготовитель и пользователь ВС. На этапе эксплуатации к человеческому фактору добавляется влияние внешней и внутренней среды. В блоке ВС дефекты классифицированы по источникам их возникновения. Самоустранимый дефект обычно является следствием помех, либо граничных значений параметров ВС. Он проявляется в виде сбоя как краткосрочного отказа.

В правой части рисунка 1 показаны операции, выполняемые системой диагностирования. На этапах моделирования и изготовления опытного образца выполняется верификация и валидация ВС. Целью *верификации* является доказательство соответствия ВС предъявляемым

ей требованиям, а целью *валидации* – доказательство её действенности, т.е. способности выполнять возложенные на неё функции. Экспериментальным средством выполнения этих операций является периодический и постоянный контроль ВС. Периодический контроль выполняется путём тестирования ВС. При обнаружении отказа ВС фиксируется наличие неисправности. Обнаружить неисправность – не означает найти дефект. Поэтому за её обнаружением следует поиск дефекта (диагностика). Поставить диагноз означает найти дефект технического объекта, а в медицине – найти причину болезни человека по совпадению симптомов его состояния с симптомами известной болезни. По виду и времени возникновения дефекта выявляется источник его возникновения. Для постоянного контроля привлекаются средства отказоустойчивых вычислений, например, дублирование [13]. К средствам отказоустойчивых вычислений относится система исправления ошибки, например, помехоустойчивое кодирование.

Графическая модель, представленная на рисунке 1, позволила уточнить соотношение основных понятий технической диагностики относительно связанных с ними операций. На усиление познавательной функции человека за счёт сочетания знаковых и образных моделей указывал Полонников [15]. Ещё ранее практические шаги в этом направлении были сделаны учителем-новатором В.Ф. Шаталовым, предложившим технологию обучения школьников на основе опорных листов и сигналов. В опорный лист входили ключевые понятия, формулы и рисунки изучаемой темы [16]. В наше время этот познавательный приём назван когнитивным моделированием.

От непротиворечивой системы базовых понятий технической диагностики можно перейти к анализу и улучшению качества определения понятия, от которого зависит его познавательная функция.

3 Собственные свойства модели

Определение понятия представляет собой простейшую онтологическую модель ПрО. В работе [17] показано, что функциональная, операционная и структурная составляющие <Функция (Ф-), Операция (О-), Структура (С-)> присущи любой модели, что позволяет отнести их к её собственным свойствам. Поскольку Ф-, О- и С-модели образуют базис собственных свойств, они применимы для анализа моделей любого типа. Применительно к лингвистическим моделям это означает, что смысл, обозначаемый словом, можно раскрывать через функцию, операцию и структуру, т.е. определять смысл слова с различных точек зрения.

3.1 Функциональный подход

Функциональный подход к выяснению смысла слова предполагает использование отношения *аргумент-функция* или/и *функция-аргумент*. В работе [18] рассмотрены следующие виды *функциональной* зависимости $a = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ фактора a от факторов $a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$: *каузальная* (связь «причина-следствие»), *суммирующая*, *альтернативная* и *транзитивная*. Зависимость «причина-следствие» a от a_i настолько сильна, что можно пренебречь зависимостью a от других аргументов. В этом случае фактор a_i можно считать *причиной* возникновения a , а сам фактор a – её *следствием*, т.е. $a = f(a_i)$. Суммирующая зависимость имеет место в том случае, когда зависимость a от любого из аргументов является *необходимой*, но *не достаточной*. Событие a может произойти только при наличии помимо наличия i -го фактора a_i (основной причины) совокупности остальных $n-1$ факторов (сопутствующих причин), т.е. $a = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$. Альтернативная зависимость характеризуется тем, что событие a может быть вызвано разными причинами, т.е. оно может зависеть от любого из n факторов в

отдельности. Транзитивная зависимость осуществляется через промежуточные факторы, т.е. фактически она реализуется последовательным выполнением суммирующей связи.

Из рассмотренных видов функциональной зависимости для объяснения смысла слова наиболее общей представляется суммирующая зависимость $a = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$. В родовидовом определении понятия она реализуется следующим образом. Определяемому понятию a приравнивается понятие более общей категории a_1 , именуемое родовым, которое уточняется видовыми отличиями $a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$, выделяющими понятие a от других понятий, видовых по отношению к понятию a_1 . Необходимости совпадения всех факторов для объяснения смысла слова отвечает функция логического умножения – конъюнкция \wedge . В словесной форме конъюнкция выражается союзом И. С учётом главенствующей роли фактора a_1 функция f представляется как:

$$(1) \quad a = a_1 \wedge \bigwedge_{i=2}^n a_i$$

По числу видовых отличий видовому понятию присваивается ранг [13]. Если ранг родового понятия a_1 в формуле (1) принять за 0, то ранг видового понятия равен числу видовых отличий $n - 1$.

Пример. Определение ранга понятия «тестовое внутреннее диагностирование» (в ВС со встроенным тестером). В нём родовому понятию «диагностирование» присваивается ранг 0. Тогда ранг предложенного видового понятия равен 2.

В функциональной логико-лингвистической модели понятия роль аргументов функции играют существенные признаки этого понятия. В работе [19] было предложено рассматривать существенные признаки понятия как актанты глагола. Этот термин был предложен Л. Теньером в 1959 году и первоначально обозначал активного участника ситуации, действующее лицо. Согласно [20] предикатное слово описывает ситуацию, имеющую некоторый набор участников. Участникам ситуации соответствуют переменные в толковании предикатного слова, отражающие *семантические валентности* данного предиката. В расширенной трактовке семантические валентности присущи и существительному, характеризваемому некоторым набором признаков. Они заполняются фрагментами смысла, которые называются *семантическими актантами* данного слова. Множество семантических актантов слова называется его актантной структурой [21]. Поиск семантических актантов отличается от синтаксического анализа предложения. Он выполняется путём поиска ответов на некоторый набор вопросов. Перечень основных вопросов в английском языке образно выражается шестёркой слов 6W, содержащих букву W. К ним относятся следующие слова: Who, What, Where, When, Why, How (буква W в конце слова).

Полноту Ф-модели слова можно определить через достаточный для понимания (выделения от других схожих с ним смыслов) перечень аргументов (определяющих слов). Он зависит от категории определяемого слова (предмет, действие). Аргументы определяются через их роли в синтезе смысла определяемого понятия, выраженные вопросительными словами. Из этого перечня исключаются вопросительные слова, ответы на которые ситуативны, т.е. зависят от ситуации, в которой используется определяемое понятие. К ним относятся вопросы «Где?» и «Когда?». Смысл понятий A и B , относящихся соответственно к категориям «предмет» и «действие», воспринимается по ответам на следующие минимальные перечни вопросов: A (*Действие*) = Pr_B (*Кто субъект действия?, Что за объект действия?, Зачем выполняется действие?, Как выполняется действие?*). B (*Предмет*) = Pr_A (*Что это?, Каким свойством обладает?, Откуда произошёл?*). Для предметов искусственного происхождения этот перечень следует дополнить вопросом «Зачем?».

3.2 Структурно-функциональный подход

Идея этого подхода заключена в поэтапном уточнении смысла слова, доминирующего в определении понятия. Доминирующим словом (ДС) обозначается родовое понятие определения. За него принимается категория, к которой отнесено определяемое понятие. Она и содержит наиболее общий смысл, подлежащий конкретизации и принимаемый за значение лингвистической функции f_1 . Видовые отличия определяемого понятия принимаются за аргументы функции f_1 , выделяемые скобками. В том случае, когда i -й аргумент имеет поясняющие слова, они, в свою очередь, принимаются за аргументы функции f_i . В качестве аргументов могут выступать любые члены предложения. Отношение пояснения представляется двухместным предикатом: Вопрос (Поясняемое слово, Поясняющее слово). Процесс конкретизации смысла родового понятия продолжается до пояснения всех слов в предложении. Полученная скобочная форма представляет собой структурно-функциональную модель (СФ-модель) определения понятия, представимую в аналитической либо графической форме (граф типа «дерево»). Структурная составляющая СФ-модели представляет отношение пояснения между словами определения.

3.3 Операционный подход

Операционный подход реализуется с применением О-модели. О-модель выражает определяемое действие через элементарные действия, реализуемые во времени и в пространстве. В простейшем случае - это последовательность элементарных действий (алгоритм), выполняемых исполнительными органами. Очевидно, что этот подход применим только для слов, имеющих смысл действия, к которым относятся глаголы и отглагольные существительные. Различие близких по смыслу слов, обозначающих действие, можно выявить через состав и последовательность реализуемых ими элементарных действий.

4 Анализ определения тестирования

4.1 СФ-модель определения понятия «тестирование»

СФ-модель понятия «тестирование» строится по его определению, данному в работе [1]. ДС в этом определении является *деятельность*. Для наглядного представления СФ-модели поясняющие слова выделены нумерованными отступами. Перед каждым поясняющим словом поставлен вопрос, на который оно отвечает.

1. *Деятельность*
 - 1.1. (В каких случаях?) *В процессе*
 - 1.1.1. (Каком?) *Разработки*
 - 1.1.1.1. (Чего?) *ВС*
 - 1.1.2. (Каком?) *Использования*
 - 1.1.2.1. (Чего?) *ВС*
 - 1.2. (Что делается?) *Выполнение процедуры*
 - 1.2.1. (Какой?) *Обнаружения*
 - 1.2.1.1. (Чего?) *Ошибки*
 - 1.2.1.1.1. (Чьей?) *Версии*
 - 1.2.1.1.1.1. (Чего?) *ВС*
 - 1.2.1.1.1.2. (Какой?) *Текущей*
 - 1.2.1.1.2. (При каких условиях?) *При функционировании*
 - 1.2.1.1.2.1. (Чего?) *Версии*
 - 1.2.1.1.2.1.1. (Чего?) *ВС*
 - 1.2.1.1.2.1.2. (Какой?) *Текущей*

По одинаковому числу цифр в нумерации поясняющего слова определяется число аргументов в поясняющей функции. Так, например, слово «деятельность» определяется функцией от двух аргументов, отвечающих на вопросы: «В каких случаях?» и «Что делается?». По числу цифр в нумерации последнего поясняющего слова определяется число уровней иерархии СФ-модели определяемого понятия. В рассматриваемом примере оно равно семи. В скобочной форме записи СФ-модель определения имеет следующий вид: *Тестирование = Деятельность (Процесс (Разработка (ВС), Использование (ВС)), Выполнение процедур (Обнаружение (Ошибка (Версия (ВС, Текущая)), Функционирование (Версия (ВС, Текущая))))))*.

В наглядной графической форме СФ-модель определения понятия *тестирование* изображена на рисунке 2. В ней все слова представлены в именительном падеже.

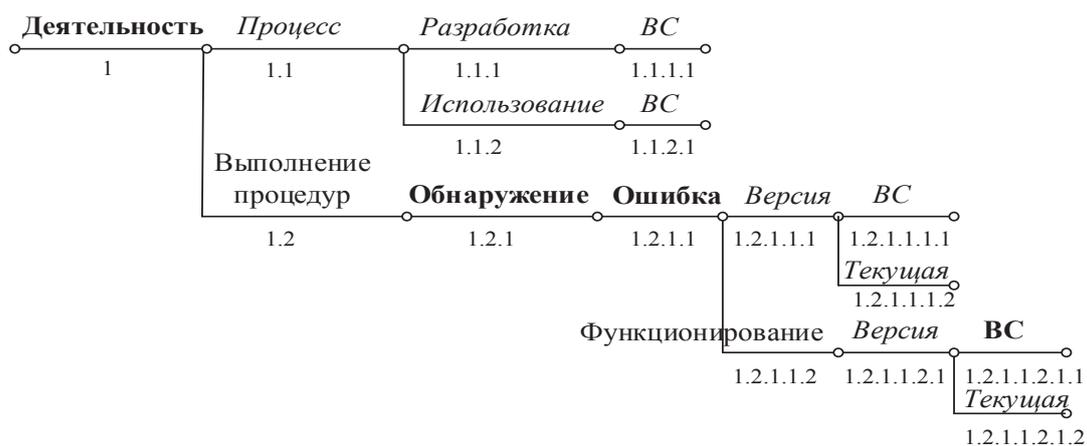


Рисунок 2 – СФ-модель исходного определения понятия «тестирование»

Наглядная СФ-модель, представленная на рисунке 2, удобна для выделения существенных (информативных) признаков, характеризующих понятие. Поскольку в задачу определения понятия входит выделение его среди других близких ему понятий, все слова, не решающие эту задачу, не существенны для определения. К ним относятся слова в верхней ветви дерева СФ-модели. Они поясняют область применения тестирования и в этом смысле являются избыточными. Поясняющая дополнительная информация обычно приводится в приложении к определению.

Избыточны также концевые вершины других ветвей дерева кроме ВС, поскольку слова «текущая версия» ВС никаким образом не поясняют особенность ВС. Словосочетание «выполнение процедур», отвечающее на вопрос «Что делается?» («В чём заключается деятельность?»), не проясняет сущность процедур и в этом смысле не является информативным. Слово «функционирование» также избыточно в определении, поскольку само понятие «тестирование» представляет собой процесс (действие), заключающийся в реализации функций системы. Жирным шрифтом на рисунке 2 выделены слова, обозначающие существенные признаки понятия «тестирование». Они используются в качестве актантов в Ф-модели для определения полноты понятия «тестирование».

4.2 Ф-модель понятия «тестирование»

В соответствии с формулой (1) минимальный перечень актантов в определении понятия, относящегося к категории действия, определён четырьмя вопросами. Графическая Ф-модель с информативными актантами СФ-модели определения тестирования приведена на рисунке 3. Эта Ф-модель наглядно демонстрирует неполноту определения понятия «тестирова-

ние», поскольку она содержит ответы только на 2 вопроса. Таким образом, предложенное в [1] определение не позволяет различить тестирование от родственным ему понятиям «контроль», «диагностирование», «отказоустойчивое функционирование». Все эти процессы подразумевают обнаружение дефектов (в определении – ошибок). Поскольку тестирование относится к категории действия, для уточнения его определения используется операционная модель (О-модель) процесса.



Рисунок 3 – Ф-модель исходного определения понятия «тестирование»

4.3 О-модель понятия «тестирование»

Слово *тестирование* имеет корень *тест* (*test*), который в английском языке трактуется как испытание или проверка. Объектом испытания является состояние объекта (исправное или неисправное из заданного списка). Для раскрытия смысла слова *test* в значении испытания, относящегося к категории действия, используем О-модель. Она включает три макрооперации:

- 1) приложение к входам объекта **специальных** воздействий, рассчитанных на распознавание заданного множества состояний;
- 2) сопоставление реакций объекта с известными реакциями на предмет совпадения;
- 3) принятие решения о состоянии объекта по результатам сопоставления.

Для выполнения перечисленных макроопераций тестирования применяется устройство, называемое тестером. Оно может быть как внешним по отношению к объекту диагностирования, так и встроенным в него. Тестер играет роль субъекта по отношению к объекту тестирования. Изложенная информация содержится в следующей формулировке определения тестирования: *Тестирование – это подача тестером специальных воздействий на исследуемый объект с целью распознавания его состояния из заданного перечня состояний по результатам оценивания реакций на воздействия.*

Полнота этого определения следует из его Ф-модели, аргументы которой (актанты предложения) отвечают на все заданные вопросы (см. рисунок 4).



Рисунок 4 – Ф-модель предложенного определения понятия «тестирование»

Приведённое определение тестирования не противоречит происхождению слова «тестирование» от корневой морфемы *тест*. В диагностировании под тестом понимают *входную*

последовательность воздействий и соответствующую ей последовательность реакций, предназначенную для обнаружения и/или различения заданного класса неисправностей.

Важной особенностью тестирования является применение **специальных** воздействий на объект, что исключает рабочий режим функционирования (подачу рабочих воздействий). Иными словами, для обнаружения и распознавания дефектов используется временной ресурс. Исправление ошибок на рабочих воздействиях по мере их возникновения требует дополнительного аппаратного ресурса.

Таким образом, включение в определение тестирования специальных воздействий отличает его от отказоустойчивого функционирования. По отношению к контролю и диагностированию тестирование играет роль средства их реализации. Тестирование, предназначенное для распознавания исправного состояния объекта, соответствует цели *периодического* контроля состояния объекта². Тестирование, предназначенное для распознавания всех состояний объекта, соответствует цели диагностирования, заключающегося в поиске дефектов из заданного класса. Таким образом, предложенный вариант определения позволяет выделить тестирование от близких ему понятий и исключает противоречия в их отношениях.

Заключение

Дальнейшая роботизация человеческих функций требует углубления информационного обмена между человеком и роботом. Наиболее удобным средством общения человека с роботом является естественный язык. Общение на нём требует однозначного понимания слов. Образцом однозначного понимания служат языки программирования. Образное мышление и интуиция человека помогают устранить недостатки логико-лингвистических моделей понятий, к каковым относятся их определения. В отличие от человека компьютер имеет только логическое «мышление». Таким образом, формирование понятий остаётся прерогативой человека. Однозначность понимания обозначаемого (денотата) зависит от качества определения ассоциируемого с ним понятия. Этому способствует имеющийся образ обозначаемого. В качестве такового выступает как естественный объект исследования, так и искусственный образ – графическое изображение (картина, схема и пр.). Взаимосвязь между описанием обозначаемого и его образом создаёт синергетический эффект понимания. Информативность создаваемого описания зависит от качества восприятия образа разработчиком. Описанием элементарного обозначаемого служит определение понятия. Как к онтологической модели, к нему предъявляются требования полноты, непротиворечивости и неизбыточности. На примере основных понятий технической диагностики в работе показана необходимость применения системного подхода к установлению отношений между понятиями и возможность использования собственных свойств модели для оценивания и улучшения качества определенных понятий. СФ-модель позволяет оценить избыточность определения понятия. С помощью Ф-модели упрощается доказательство полноты определения понятия, а О-модель применяется для уточнения содержимого понятий, относящихся к категории действия.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке грантов РФФИ № 19-08-00989-а, № 20-08-01046 в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

² Для обозначения непрерывного контроля за функционированием объекта на рабочих воздействиях на предмет его соответствия нормативам используют термин мониторинг (*monitoring*). *Прим. автора.*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Ярмолик, В.Н.** Контроль и диагностика вычислительных систем. – Минск: Бестпринт, 2019. – 387 с.
- [2] **Чегис, И.А.** Логические способы контроля работы электрических схем / И.А. Чегис, С.В. Яблонский // Тр. Математического ин-та им.В.А. Стеклова. – М.: Изд-во АН СССР. 1958. – Т. 51. – С. 270-360.
- [3] **Roth, J.P.** Diagnostic of automata failures: a calculus and a method / J.P. Roth // IEEE Transactions on Computers. 1966. – Vol. 10. – No. 7. pp. 278-291.
- [4] **Armstrong, D.B.** On finding a nearly minimal set of fault detection tests for combinational logic nets / D.B. Armstrong // IEEE Transactions on Electronic Computers. 1966. vol. EC-15. No 1. pp. 66-73.
- [5] **Карибский, В.В.** Техническая диагностика комбинационных устройств / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоян // Сб. «Абстрактная и структурная теория релейных устройств». – М.: Наука, 1966. – С. 189-225.
- [6] **Chillarege, R.** Orthogonal Defect Classification. A Concept for In-Process Measurements / R. Chillarege [at al.] // IEEE Transactions on Software Engineering. 1992. – No. 18 (11). pp. 943-956.
- [7] **Grottke, M.** Classification of Software Faults / M. Grottke, K.S. Trivedi / In Supplemental of the Proceedings Sixteens International IEEE Symposium on Software Reliability Engineering. 2005. pp. 4.19-4.20.
- [8] ГОСТ 19919-74. Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения.
- [9] ГОСТ 20911-75. Техническая диагностика. Основные термины и определения.
- [10] ГОСТ 27002-83. Надёжность в технике. Термины и определения.
- [11] ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
- [12] ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Основные термины и определения.
- [13] **Микони, С.В.** Общие диагностические базы знаний вычислительных систем / С.В. Микони. – СПб.: СПИИРАН. 1992. – 234 с.
- [14] Ошибка. Большой толковый социологический словарь. https://gufo.me/dict/social_dict/Ошибка.
- [15] **Полонников, Р.И.** Избранные труды в двух томах. СПб: "Анатолия". 2013. Том 1. – С. 120-121.
- [16] **Шаталов, В.Ф.** Опорные сигналы по физике для VII класса. – Киев: Рад. школа. 1979. – 48 с.
- [17] **Микони, С.В.** Формализация познавательного процесса на основе базиса моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №1(27). – С. 35-48. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-35-48.
- [18] **Микони, С.В.** Формализованный подход к установлению связи и роли понятий / С.В. Микони // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. Выпуск 2 (Труды XXI Международной объединенной конференции «Интернет и современное общество, IMS-2018. СПб. 30.05-2.06.2018. Сборник научных статей). – СПб.: Университет ИТМО. 2018. – С. 75-84.
- [19] **Микони, С.В.** Связывание показателей в модели оценивания качества сложных объектов на основе определений понятий / С.В. Микони // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 8, no. 2, 2020. –С. 21-26.
- [20] **Теньер, Л.** Основы структурного синтаксиса. / Пер. с франц. Вступ. ст. и общ. ред. В. Г. Гака. – М.: Прогресс, 1988. – 656 с.
- [21] **Богуславский, И.М.** Сфера действия лексических единиц – М.: Школа «Языки русской культуры»: Кошелев, 1996. – 460 с.

Сведения об авторе



Микони Станислав Витальевич, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994), ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций более 300 работ, из них 3 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта, квалиметрии. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019. smikoni@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2020, после рецензирования 13.05.2020. Принята к публикации 19.06.2020.

Improving the cognitive function of the concepts of technical diagnostics using the system approach and the model's own properties

S.V. Mikoni

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, St. Petersburg, Russia

Abstract

Preference for English-language publications affected the quality of Russian modern scientific terminology. The loss of the relationship between the basic concepts of technical diagnostics, resulting from their definitions in the monograph, is shown. The reasons for this situation include: neglect of fundamental Russian standards in the field of reliability and diagnostics, borrowing foreign definitions without taking into account the peculiarities of the national language, loss of the figurative perception of terms and lack of a scientific approach to the formation of definitions of concepts. On the basis of definitions of concepts formulated in the fundamental domestic standards, the relationships between failure, error, defect and malfunction are established, illustrated by a clear structural and functional model for diagnosing a computer system. To improve the cognitive function of concepts, it is proposed to use a systematic approach and the model's own properties (function, structure, operation). With their use, a critical analysis of the definition of the concept of "testing" was performed. Based on the results of the analysis, a definition of this concept is proposed that satisfies system requirements.

Key words: failure, error, defect, malfunction, testing, system approach, model's own properties, function, structure, operation, image.

Citation: Mikoni SV. Improving the cognitive function of the concepts of technical diagnostics using the system approach and the model's own properties [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(2): 163-175. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-163-175.

Acknowledgment: The studies carried out on this subject were carried out with the financial support of the RFBR grants No. 19-08-00989-a, 20-08-01046 within the framework of the budget theme 0073-2019-0004.

List of figures

Figure 1 – Structural-functional model for diagnosing computing systems

Figure 2 – Structural-functional model of the initial definition of testing

Figure 3 – Functional model of the initial definition of testing

Figure 4 – Functional model of the proposed definition of testing

References

- [1] **Yarmolik VN.** Kontrol i diagnostika vichislitel'nykh sistem [Monitoring and diagnostics of computer systems] [In Russian]. Minsk: Bestprint, 2019. – 387 p.
- [2] **Chegis IA, Yablonskii SV.** Logicheskie sposobi kontrolya raboti elektricheskikh shem [Logical ways to control the operation of electrical circuits] [In Russian]. Trudi Matematicheskogo instituta im. V.A. Steklova. – M.: Izd-vo AN SSSR. 1958; 51: 270-360.
- [3] **Roth JP.** Diagnostic of automata failures: a calculus and a method. *IEEE Transactions on Computers*. 1966; 10(7): 278-291.
- [4] **Armstrong DB.** On finding a nearly minimal set of fault detection tests for combinational logic nets. *IEEE Transactions on Electronic Computers*. 1966; EC-15(1): 66-73.
- [5] **Karibskii VV, Parhomenko PP, Sogomonyan ES.** Technicheskaya diagnostika kombinatsionnykh sistem [Technical diagnostics of combinational devices]. [In Russian]. Sb. «Abstraktnaya i strukturnaya teoriya releinykh ustroystv». – M.: Nauka, 1966. 189-225.
- [6] **Chillarege R. et al.** Orthogonal Defect Classification. A Concept for In-Process Measurements. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1992; 18(11): 943-956.
- [7] **Grottke M, Trivedi KS.** Classification of Software Faults. In Supplemental of the Proceedings Sixteens International IEEE Symposium on Software Reliability Engineering. 2005. 4.19-4.20.

-
- [8] GOST 19919-74. Monitoring automated technical condition of aircraft products. Terms and Definitions. [In Russian].
- [9] GOST 20911-75. Technical diagnostics. Key Terms and Definitions. [In Russian].
- [10] GOST 27002-83. Reliability in technology. Terms and Definitions. [In Russian].
- [11] GOST 15467-79. Product Quality Management. Basic concepts. Terms and Definitions. [In Russian].
- [12] GOST 20911-89. Technical diagnostics. Key Terms and Definitions. [In Russian].
- [13] **Mikoni SV**. Obschie diagnosticheskie bazi znaniy vichislitel'nykh system [General diagnostic knowledge base of computing systems]. [In Russian] – SPb.: SPIIRAS. 1992. – 234 p.
- [14] Error. Great Explanatory Sociological Dictionary [In Russian]. https://gufo.me/dict/social_dict/Ошибка.
- [15] **Polonnikov RI**. Selected Works in Two Volumes. [In Russian]. SPb.: Anatoliya. 2013; 1: 120-121.
- [16] **Shatalov VF**. Opornie signali po fizike dlya VII klassa [Physics reference signals for grade VII]. [In Russian]. – Kiev: Rad. shkola. 1979. – 48 p.
- [17] **Mikoni SV**. Formalization of the cognitive process using the basis of models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 35-48. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-35-48.
- [18] **Mikoni SV**. A formalized approach to establishing the connection and the role of concepts [In Russian]. Computational Linguistics and Ontologies. Vypusk 2 Trudi XXI Mejdunarodnoi obedinennoi konferentsii «Internet i sovremennoe obschestvo, IMS-2018. – SPb.: 30.05-2.06.2018. Sbornik nauchnykh statei. – SPb.: Universitet ITMO. 2018. 75-84.
- [19] **Mikoni SV**. Linking indicators in a model for assessing the quality of complex objects based on definitions of concepts [In Russian]. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 8, no. 2, 2020. C. 21-26.
- [20] **Tesnière L**. Elements de syntaxe structural. Paris: Librairie P.Klincksieck, 1976. [Structural Syntax Basics]. [In Russian]. Moscow: Progress. 1988. – 656 p.
- [21] **Boguslavskii IM**. Sfera deistviya leksicheskikh edinits [Scope of lexical units]. [In Russian]. Moscow: Shk. "Yaziki russkoi kulturi": Koshelev. 1996. – 460 p.
-

About the author

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992). Professor (1994). He is Russian Association of Artificial Intelligence member (1998). He is the author and co-author of more than 300 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematical, system analyses, artificial intelligence, decision making theory, qualimetry. AuthorID (RCI): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019. smikoni@mail.ru.

Received March 19, 2020. Revised May 13, 2020. Accepted June 19, 2020.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.89

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-176-189

Концепция поддержки лазерного аддитивного производства на основе онтологического подхода

В.В. Грибова, В.А. Тимченко

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация

Предложена общая концепция программно-информационной поддержки лазерного аддитивного производства металлических изделий из порошковых композиций. В её основу положен онтологический двухуровневый подход к формированию знаний о процессах лазерного аддитивного производства. При таком подходе онтология явно отделена от базы знаний, и профильные специалисты могут самостоятельно формировать и развивать знания в понятном для них концептуальном представлении. Предложена общая архитектура, описан состав и назначение информационных и программных компонентов комплекса поддержки принятия решений в процессах лазерного аддитивного производства. К информационным компонентам относятся онтологии, базы данных, содержащие информацию о компонентах систем лазерного аддитивного производства и материалах для аддитивного производства, а также база знаний и база прецедентов. В базе знаний содержится формализованная информация о настройках режимов лазерного аддитивного производства, обеспечивающих соответствие получаемых металлических деталей требованиям действующих нормативных документов отрасли. База прецедентов содержит структурированное описание протоколов использования лазерных технологических комплексов для аддитивного производства металлических изделий из металлопорошковых композиций. К программным компонентам относятся редакторы для формирования и сопровождения баз данных и базы знаний, система поддержки принятия решений, основанная как на знаниях, так и на прецедентах, а также средство структуризации базы прецедентов. Для моделирования физико-химических процессов используются соответствующие внешние программные средства. При принятии решений используется гибридный подход, объединяющий методы инженерии знаний и поиска по аналогии на основе прецедентов. Особенностью подхода является непрерывное обновление базы знаний за счёт её совершенствования экспертами и верификации в процессе накопления прецедентов.

Ключевые слова: *системы поддержки принятия решений, лазерное аддитивное производство, лазерные технологические комплексы, прямое лазерное выращивание, онтологии.*

Цитирование: *Грибова, В.В.* Концепция поддержки лазерного аддитивного производства на основе онтологического подхода / *В.В. Грибова, В.А. Тимченко* // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №2(36). – С.176-189. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-176-189.

Введение

Технологии аддитивного построения, восстановления (ремонта) или модификации сложнопрофильных (со сложной геометрией) функциональных металлических изделий находят всё большее применение в различных отраслях промышленности [1–3]. Под модификацией изделия понимается нанесение на него функционального покрытия (слоя), которое придаёт изделию необходимые свойства. Аддитивные технологии позволяют с минимальными (в том числе энергетическими) затратами реализовать любые конструкторские и инженерные идеи

в наукоёмких и высокотехнологичных отраслях производства, таких, как авиастроение, ракетостроение, судостроение, медицина. Вместе с тем, недостаточное количество высококлассных специалистов в области аддитивного производства (АП) с использованием лазерных технологических комплексов является серьёзным препятствием к широкому внедрению этой передовой технологии в производственные процессы. Сложность настройки лазерной системы под конкретную технологическую задачу обусловлена многообразием обрабатываемых материалов, различными требованиями к характеру обработки и её результатам, а также регулируемыми параметрами лазерных комплексов. Большая часть существующих знаний основана на эмпирических правилах и экспериментальных исследованиях [4]. Многие доступные в настоящее время рекомендации в сфере АП в значительной степени зависят от конкретного аппаратного технологического комплекса и/или используемых материалов, что тормозит выработку строгих стандартов и производственных рекомендаций по настройке параметров технологических процессов [5].

Создание и внедрение в существующие системы АП информационно-программных компонентов интеллектуальной поддержки и автоматизации технологических процессов восполнит недостаток практического опыта операторов систем АП, позволит существенно снизить требования к их квалификации, а также затраты на производство и утилизацию отходов. Это практически исключает ситуации, когда производство попадает в экономическую зависимость от конкретного инженера-технолога, имеющего большой опыт и навыки работы в этой сфере. Потери на обучение специалиста в случае его смены негативно могут отразиться на экономическом состоянии предприятия: требуются годы напряжённой работы и большое количество дорогостоящего порошкового материала для приобретения у специалиста-технолога необходимых компетенций, позволяющих выполнить процедуры необходимой настройки системы АП [6]. Стоит заметить, что металлопорошковые композиции для систем АП в основном приходится закупать за рубежом [7].

Таким образом, актуальной является задача создания средств интеллектуальной поддержки АП функциональных металлических изделий из металлопорошковых композиций, автоматизирующих подбор регулируемых параметров технологических операций, обеспечивающих соответствие получаемых изделий требованиям действующих нормативных документов отрасли.

Работа посвящена описанию общей концепции программно-информационной поддержки лазерного АП металлических изделий из порошковых композиций на основе онтологического подхода. Рассматривается один из наиболее перспективных видов аддитивных технологий (согласно [8, 9]), известный как «прямой подвод энергии непосредственно в место построения» (*Directed Energy Deposition, DED*). Это процесс АП, в котором сфокусированная энергия от внешнего источника (например, мощного лазера, в случае лазерного АП) используется для соединения материалов путём их сплавления в процессе нанесения.

1 Средства поддержки АП металлических изделий

Современная технология лазерного АП металлических изделий из металлопорошковых композиций базируется как на разработанных теоретических моделях, так и на многочисленных экспериментальных данных, в том числе – на практическом опыте работы квалифицированных специалистов-технологов.

Теоретические и экспериментальные исследования, а также прикладные работы по созданию систем поддержки принятия решений (СППР), оказывающих инженерам-технологам помощь в подборе оптимальных параметров лазерных технологических процессов обработки материалов, ведутся как в нашей стране, так и за рубежом [10–15].

Задача, направленная на создание СППР для лазерных технологических процессов обработки материалов и сопряжение таких систем с конкретным эксплуатируемым лазерным оборудованием, в достаточной мере пока не решена [16]. В качестве одной из основных причин можно назвать отсутствие открытых (не проприетарных) технологических платформ поддержки профессиональной кросс-дисциплинарной кооперации исследовательских групп.

В настоящее время исследователи, как из производственной, так и из академической среды работают над достижением лучшего понимания влияния разных процессов лазерного АП на изготовление металлических изделий. Ввиду необходимости учитывать большое количество разнородных параметров, добиться надёжной воспроизводимости этих процессов весьма сложно. В работах [5, 17, 18] обсуждается возможность использования онтологического подхода для:

- концептуализации различных моделей и параметров комплексных процессов АП, которые легко интегрировать друг с другом;
- построения моделей процессов АП, пригодных для повторного использования;
- обеспечения возможности стандартизации описаний и координации усилий различных исследовательских групп.

Разработка онтологической структуры процесса лазерного АП, на основе которой может быть формализована информация (знание) о различных моделях и параметрах АП и их связях друг с другом, является первым и важным шагом к их повторному использованию, а также к всестороннему пониманию процессов лазерного АП из металлопорошковых композиций [18].

Современное состояние в области формализации знаний об АП основано на дескриптивных логиках, а также на формализме теории категорий (category ontologies), используемых для описания различных онтологий АП, таких как онтология проектирования [19, 20] и онтология процессов [5, 18]. В этих же работах приводится онтология (мета-модель), позволяющая специфицировать модели источников лазерного излучения, тепловые модели, модели механики, описывающие физико-механические свойства изготавливаемых металлических изделий и микроструктуры, а также различные группы параметров и взаимосвязи между ними для процесса АП. Для разработки онтологии в [17, 18] используется программное средство *Protégé* [21].

Онтологии и мета-модели рассматриваются как средство повышения структуризации и унификации спецификаций при разработке моделей АП. Стоит отметить, что это справедливо и для других (не только аддитивных) лазерных технологических процессов обработки материалов.

Комплексные (интеграционные) концептуальные (мета-)модели в сфере АП полезны, прежде всего, опытным специалистам и разработчикам стандартов в данной области. Операторы промышленных технологических комплексов для АП в условиях ремонтного предприятия или мелкосерийного производства нуждаются в основанных на таких моделях программных продуктах, оказывающих помощь в подборе настраиваемых параметров технологических процессов, которые обеспечивали бы соответствие изготавливаемых металлических изделий требованиям соответствующих отраслевых нормативных документов. Поэтому развитием этих работ может стать создание на основе онтологии АП web-сервисов, к которым заинтересованные пользователи могут иметь свободный доступ с целью получения обновления знаний о процессах АП. Конечная цель состоит в предоставлении возможности быстрого и точного предиктивного моделирования различных процессов АП [22].

Таким образом, разработка программного комплекса, предназначенного для повышения уровня информационного обеспечения инженеров-технологов при подготовке и принятии

решений в ходе выполнения технологических процессов лазерного АП металлических изделий, является актуальной задачей.

2 Комплекс поддержки принятия решений в процессах лазерного АП

Основными требованиями, которые необходимо обеспечить при разработке программно-информационного комплекса поддержки принятия решений в сфере лазерного АП металлических изделий из металлопорошковых композиций, являются его гибкость и оперативная расширяемость, а также доступность и простота использования операторами (инженерами-технологами) лазерного технологического комплекса.

Для удовлетворения этих требований предложено использовать онтологический двухуровневый подход к формированию знаний о процессах лазерного АП металлических изделий. При таком подходе онтология явно отделена от базы знаний (БЗ). Она формируется инженерами знаний совместно с экспертами. Далее в терминах этой онтологии пользователи-эксперты самостоятельно создают и развивают знания в понятной для них терминологии и представлении (онтология и БЗ представляются семантическими сетями) [23, 24]. Предлагается использовать облачные технологии для обеспечения лёгкого, кроссплатформенного доступа к централизованным облачным банкам информации и средствам их формирования, а также средству поддержки принятия решений [25].

Совместно с экспертами – опытными специалистами по аддитивной технологии прямого лазерного выращивания металлических изделий из металлопорошковых композиций была проведена структуризация рассматриваемой предметной области. Определены основные параметры компонентов лазерного технологического комплекса, влияющие на ход процесса лазерного АП и определяющие его результат, которые должны учитываться инженером-технологом (определяющие параметры).

В результате анализа были выделены информационные и программные компоненты комплекса поддержки принятия решений в процессах лазерного АП (рисунок 1).

2.1 Информационные компоненты

К информационным компонентам комплекса относятся: онтологии, знания и данные.

2.1.1 Онтологии

К этой группе информационных компонентов относится набор следующих связанных онтологий.

Онтология технологических операций. Входная информация для каждой технологической операции представляет собой спецификацию характеристик следующей совокупности объектов (рисунок 2)¹:

- вид процесса – восстановление детали, наплавка функционального покрытия, изготовление новой детали;
- оборудование для выполнения операции – технологический лазер, укомплектованная лазерная технологическая головка, порошковый питатель и т.д.;
- формализованное техническое задание (ТЗ) на выполнение технологической операции.
ТЗ включает:
 - зафиксированные в стандартах и руководящих документах требования к форме, структуре, характеристикам результирующего изделия: геометрические размеры,

¹ На данном рисунке (и всех остальных) изображён интерфейс инструментального средства облачной платформы IASaaS «Редактор онтологий», который используется для формирования онтологий в Фонде платформы [25]. *Прим. авт.*

шероховатость поверхности, пористость, твёрдость, микроструктура, остаточное напряжение и т.п.;

- характеристики обрабатываемой детали: геометрическая форма, химический состав, оптические свойства, теплофизические свойства, металлургические свойства (в случае восстановления детали или наплавки на неё функционального покрытия);
- используемый металлический порошок и, возможно, используемые технологические газы.

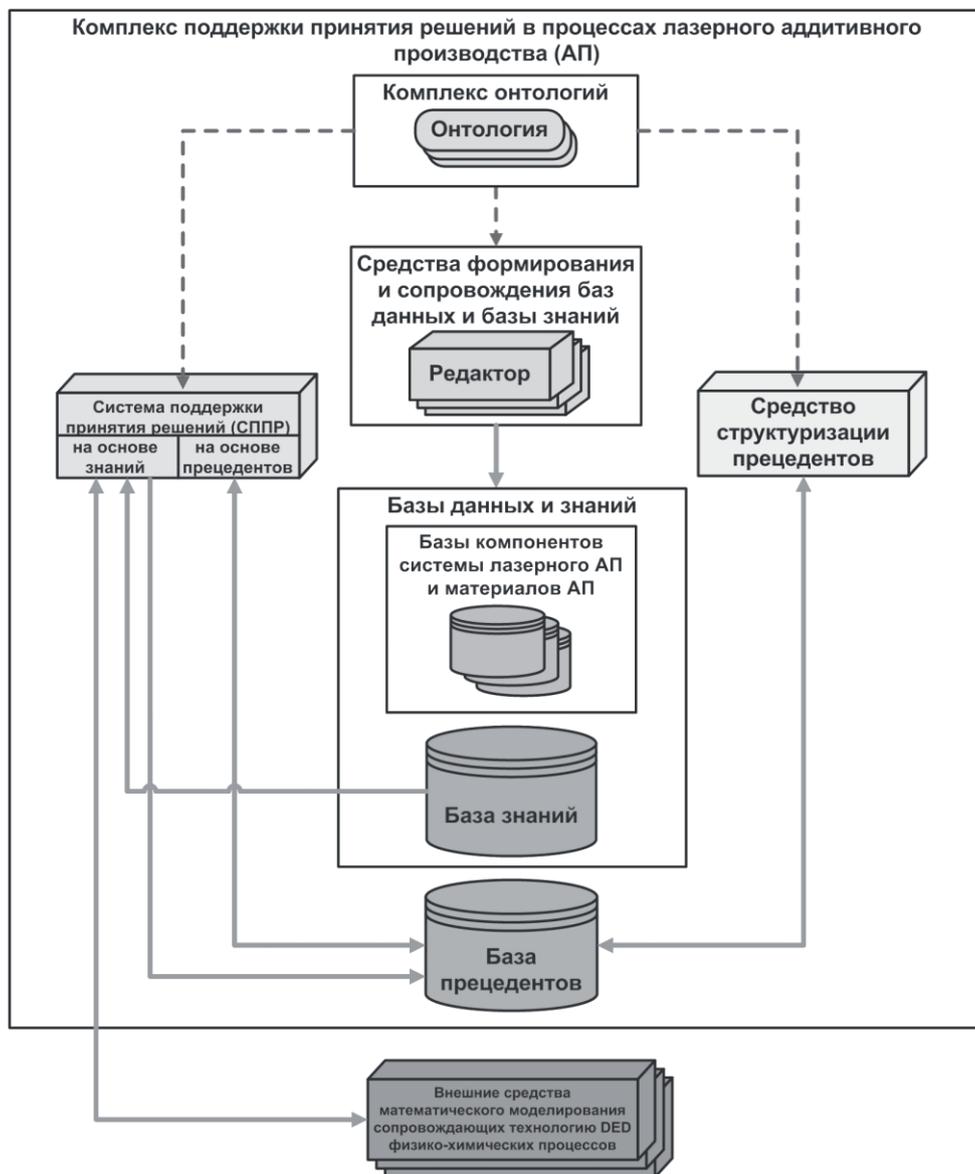


Рисунок 1 – Концептуальная схема комплекса поддержки принятия решений в процессах лазерного аддитивного производства

Выходная информация для технологической операции представляет собой спецификацию характеристик следующей совокупности объектов.

- Настройки (значения) определяющих управляющих параметров технологической операции – набор регулируемых рабочих параметров и системных настроек. К таким параметрам относятся: мощность лазерного излучения; режим генерации лазерного излучения (непрерывный, импульсный); размер (диаметр) пятна лазерного пучка на обрабатываемой

поверхности; линейная скорость перемещения лазерного пучка по поверхности; величина вертикального (z) и горизонтального (x, y) смещения между слоями и проходами, соответственно; расход порошка, расход транспортного, защитного и обжигающего газов и др. Сюда могут быть отнесены рекомендуемые для использования технологические газы.

- Характеристики подложки, на которой выращивается деталь (в случае изготовления новой детали). За исключением геометрической формы они во многом совпадают с набором характеристик, описывающих обрабатываемую деталь.
- Формализованный протокол о проведении операции.

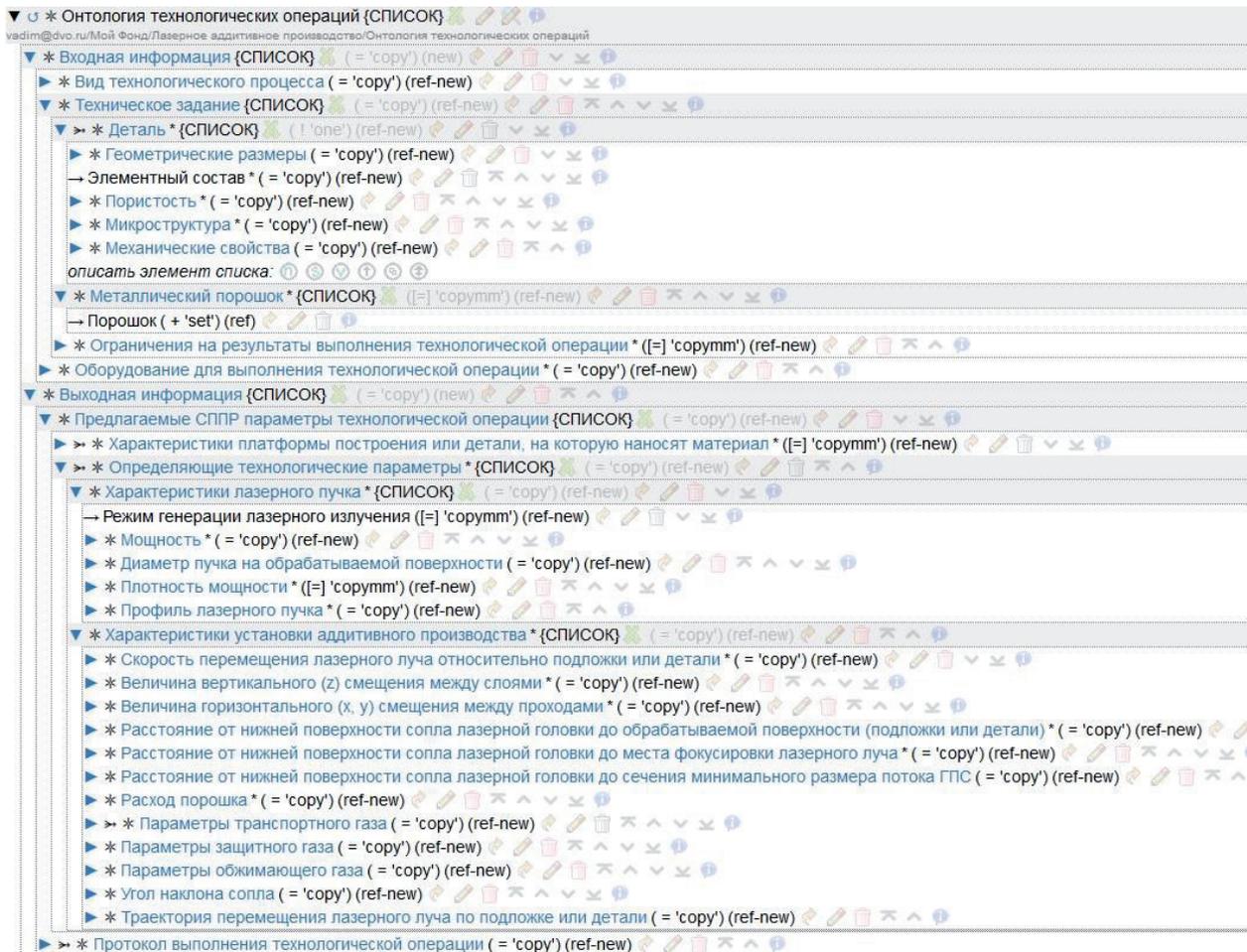


Рисунок 2 – Фрагмент онтологии для спецификации технологических операций (скриншот)

В протоколе, помимо обязательной информации (номер, дата, название операции и т.п.), фиксируются:

- фактически выбранные оператором оборудования настройки управляющих параметров технологической операции (они могут как совпадать с предлагаемыми СППР, так и отличаться от них);
- результат выполнения операции – деталь с характеристиками, соответствующими или не соответствующими требованиям, сформулированным в ТЗ.

Чтобы обеспечить возможность унифицированного и стандартизованного (в том числе согласованного по терминологии) описания оборудования и расходных материалов для лазерного АП, а также возможность использования этих описаний при спецификации технологических операций, в состав комплекса онтологий входят следующие онтологии.

Онтологии баз компонентов лазерного технологического комплекса (в качестве системы АП): технологических лазеров (рисунок 3); укомплектованных лазерных технологических головок; устройств, обеспечивающих перемещение головки относительно поверхности построения; порошковых питателей.

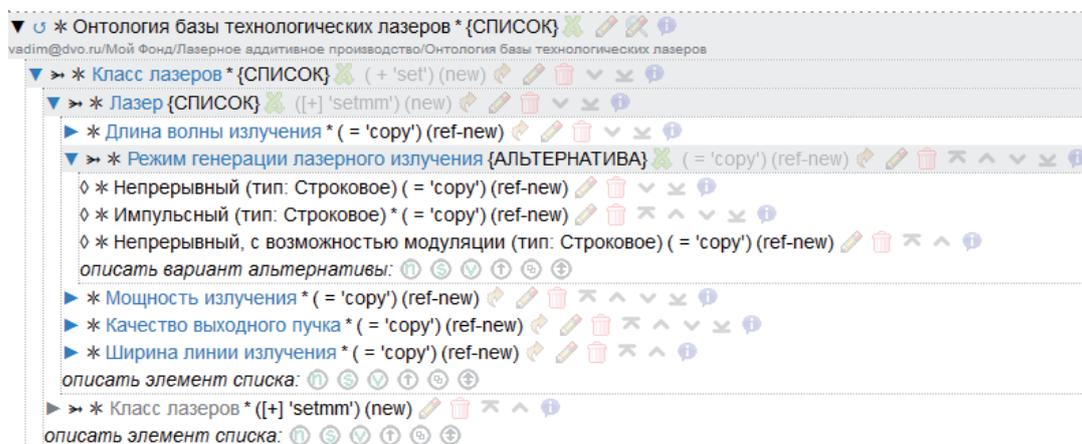


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии базы технологических лазеров (скриншот)

Онтология базы металлических порошков для спецификации таких данных, как гранулометрический состав и процентное содержание основной фракции, химический состав (номинальный и основные компоненты в соответствии с нормативно-технической документацией), температура плавления (в т.ч. температура солидус и температура ликвидус), текучесть, насыпная плотность и пр. (рисунок 4).

Онтология базы технологических газов для спецификации таких характеристик технологического газа, как его наименование, марка, сорт и пр.

Для формирования знаний, на основе которых принимаются решения об оптимальных режимах лазерного АП, в состав комплекса онтологий входит онтология БЗ.

БЗ формируется квалифицированными специалистами-технологами на основе собственного опыта и информации из неформализованных источников (руководств, научных статей, документированных результатах экспериментов). В результате использования СППР накапливается база прецедентов (формализованных протоколов о проведённых технологических операциях), которые используются для вывода на основе прецедентов (если их количество невелико), либо для формирования БЗ с использованием методов индуктивного обобщения данных (если объём выборки достаточен для обучения).

В состав комплекса онтологий входит также онтология базы прецедентов, в соответствии с которой формируется структурированное множество формализованных протоколов (отчётов) о проведённых технологических операциях (рисунок 5). Каждый прецедент может принадлежать одному из следующих классов, разграничивающих ситуации, когда:

- 1) предложено правильное и точное решение;
- 2) предложено правильное, но неточное решение (несколько возможных альтернатив, среди которых было и правильное решение);
- 3) предложено неправильное решение (множество альтернатив, возможно пустое, среди которых не было правильного решения);
- 4) не предложено решений (создан отчёт об использовании лазерного технологического комплекса при выполнении технологической операции, однако система не смогла предложить решение, оператор принял решение самостоятельно).

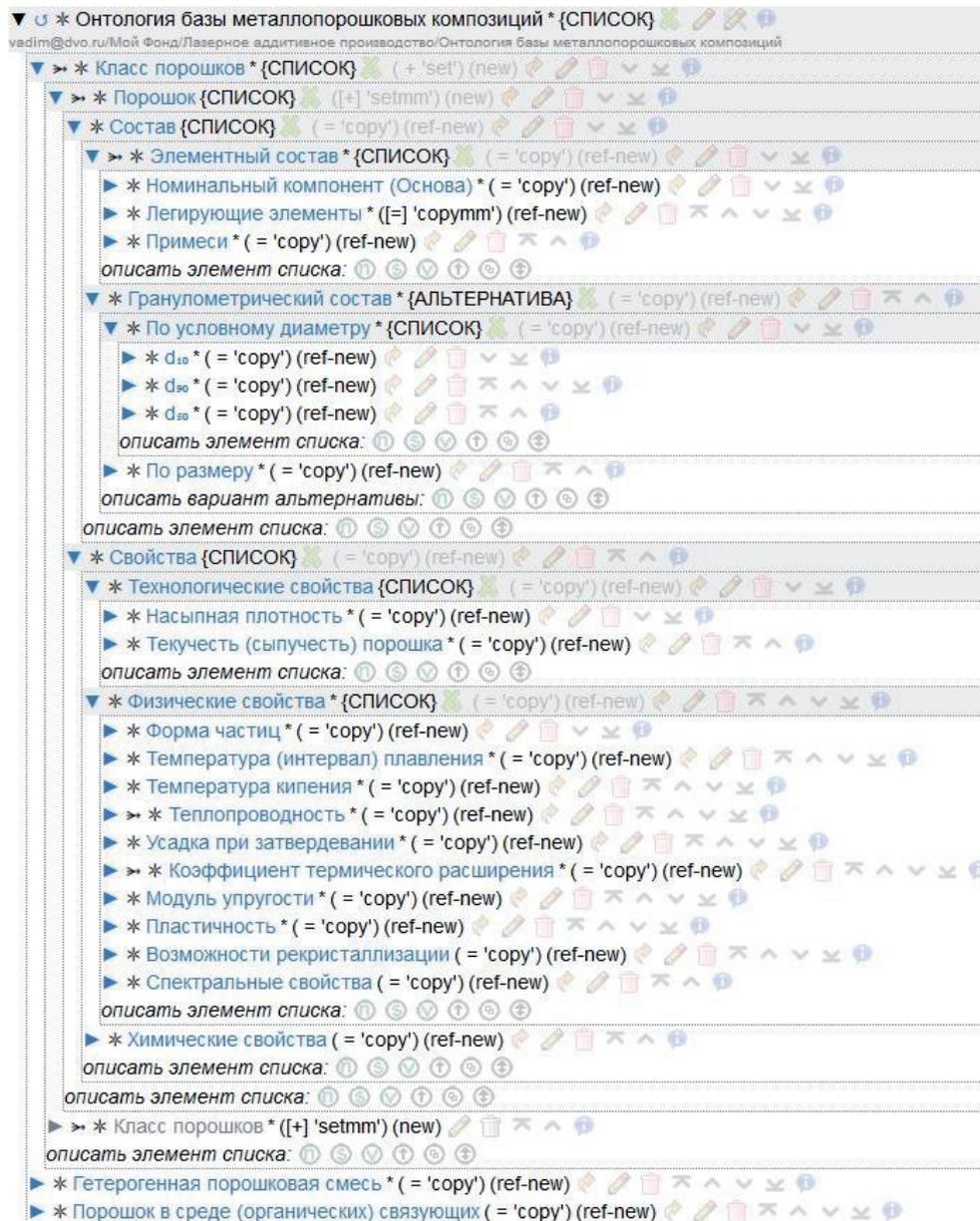


Рисунок 4 – Фрагмент онтологии базы металлопорошковых композиций (скриншот)

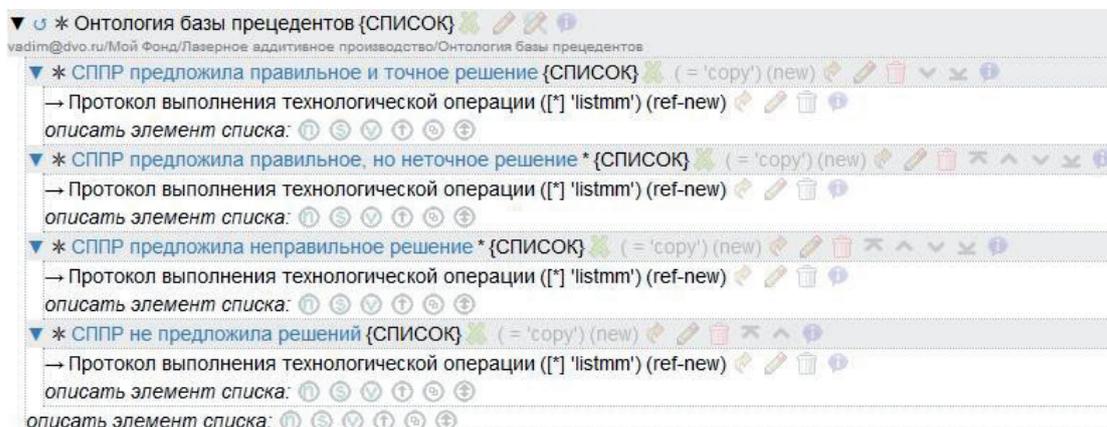


Рисунок 5 – Фрагмент онтологии базы прецедентов (скриншот)

2.1.2 Базы данных и знаний

К этой группе информационных компонентов относятся *базы данных (БД) и БЗ*, сформированные на основе соответствующих онтологий.

БД содержат информацию о *компонентах системы лазерного АП и материалах АП*. Это базы технологических лазеров; укомплектованных лазерных технологических головок; устройств, обеспечивающих перемещение головки относительно поверхности построения; порошковых питателей; металлических порошков и технологических газов. В этих базах содержится также информация о регулярных обеспечивающих качество мероприятиях, проводимых для соответствующего оборудования и порошкового материала.

БЗ о настройках режимов лазерного АП, обеспечивающих соответствие получаемых металлических деталей требованиям действующих нормативных документов отрасли, предъявляемым к деталям/изделиям такого типа. В БЗ содержатся формально представленные зависимости, устанавливающие взаимосвязи между составом и свойствами наносимых порошковых материалов, режимом их нанесения (набором регулируемых рабочих параметров и системных настроек), а также создаваемой при этом газовой средой, и свойствами результирующих деталей/изделий.

Помимо БД и БЗ, в состав информационных компонентов комплекса входит *база прецедентов*, формируемая на основе соответствующей онтологии. Эта база содержит структурированное описание протоколов использования лазерных технологических комплексов для АП металлических изделий из металлопорошковых композиций. Базу прецедентов предлагается использовать для выполнения двух процессов.

- Для индуктивного (наряду с экспертным формированием с помощью редактора БЗ) формирования, непрерывной верификации и улучшения БЗ в процессе эксплуатации и системы управления знаниями. В обоих случаях формирование БЗ выполняется на основе онтологии, что делает её понятной и хорошо интерпретируемой экспертами. Таким образом обеспечивается *гибридный подход* к формированию знаний.
- Для поиска в базе прецедентов наиболее близкого прецедента по параметрам, указанным пользователем, в случае, если соответствующие знания отсутствуют в БЗ. Предполагается использование метода *k* ближайших соседей, основанного на знаниях о предметной области [26].

При появлении нового прецедента оценивается соответствие прецедента текущему состоянию БЗ.

Прецеденты классов 1) и 2) образуют множество адекватно решаемых по оцениваемой версии БЗ задач и не требуют её модификации.

Прецеденты класса 3) требуют модификации БЗ, которая не ухудшает её: после модификации проверка БЗ на прежнем множестве прецедентов должна демонстрировать отсутствие прецедентов этого класса.

Класс 4) требует накопления для последующего использования методов индуктивного формирования знаний для расширения БЗ.

2.2 Программные компоненты

К программным компонентам комплекса относятся следующие средства.

Редакторы для формирования и сопровождения БД и БЗ, управляемые соответствующими онтологиями. Редакторы поддерживают несколько типов пользовательских интерфейсов и автоматически адаптируются под изменения онтологий.

СППР, которая на основе входной информации для заданной технологической операции, а также информации из БЗ или базы прецедентов выдаёт рекомендации по настройке управ-

ляющих параметров лазерного технологического комплекса, обеспечивающих соответствие детали требованиям, сформулированным в ТЗ. Разработка онтолого-ориентированной СППР направлена на обеспечение возможности её адаптации (при появлении новых технологических лазеров, порошковых композиций и др.) без модификации программного кода.

Средство структуризации прецедентов, накапливаемых в результате использования СППР, выполняет анализ очередного сформированного прецедента, относит его к одному из четырёх классов и включает в базу прецедентов.

Управляющие параметры технологического процесса, обеспечивающие заданное качество получаемого изделия, необходимо подбирать, основываясь на понимании процессов взаимодействия лазерного излучения с потоком порошка, тепломассопереноса и прочих физико-химических процессов, сопровождающих технологию *DED*. В связи с этим требуется взаимодействие СППР с *внешними средствами математического моделирования физико-химических процессов*, сопровождающих технологию *DED*. Такие средства должны выполнять расчёты необходимых параметров на основе соответствующих математических моделей из области физики лазеров (в том числе взаимодействие лазерного излучения с веществом, потоком порошка), лазерной химии, тепловых моделей, описывающие быстро протекающие термические процессы [27, 28].

Заключение

В работе представлена общая концепция программно-информационной поддержки лазерного АП металлических изделий из порошковых композиций на основе онтологического подхода. Описан состав и назначение информационных и программных компонентов СППР в процессах лазерного АП.

Предложено использовать гибридный подход к обеспечению поддержки принятия решений в сфере лазерного АП, который объединяет методы инженерии знаний и поиск по аналогии с использованием накапливаемой базы прецедентов. Особенностью подхода является непрерывное обновление БЗ за счёт её совершенствования экспертами и верификации в процессе накопления прецедентов.

На основе предложенной концепции на облачной платформе создан портал знаний о технологических процессах (операциях) АП металлических изделий с использованием лазерных технологических комплексов. К настоящему времени разработан ряд информационных и программных компонентов портала знаний.

Интеграция БД и БЗ о режимах АП широкого спектра металлических изделий с заданными свойствами на различных лазерных технологических комплексах в едином информационном пространстве упростит доступ к этой информации всему заинтересованному сообществу. Такие базы будут полезны в процессе обучения операторов лазерных комплексов, а их формализованное представление обеспечит возможность использования этой информации программными системами, разрабатываемыми другими коллективами.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 20-01-00449, № 19-07-00244).

Список источников

- [1] *Frazier, W.E.* Metal additive manufacturing: A review / W.E. Frazier // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2014. - Vol. 23. - P. 1917–1928.

- [2] **Sedlak, J.** Study of Materials Produced by Powder Metallurgy Using Classical and Modern Additive Laser Technology / J. Sedlak, D. Rican, M. Piska, L. Rozkosny // *Procedia Engineering*. - 2015. - Vol. 100. - P. 1232–1241.
- [3] **Tack, P.** 3D printing techniques in a medical setting: A systematic literature review / P. Tack, J. Victor, P. Gemmel, L. Annemans // *BioMedical Engineering OnLine*. - 2016. - Vol. 15(115). - P. 1–21.
- [4] **Yang, L.** Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production / L. Yang, K. Hsu, B. Baughman, D. Godfrey, F. Medina, M. Menon, S. Wiener. – Springer, 2017. - 168 S.
- [5] **Qi, Q.** A categorical framework for formalising knowledge in additive manufacturing / Q. Qi, L. Pagani, P. Scott, J. Xiang // *Procedia CIRP*. - 2018. - Vol. 75. - P. 87–91.
- [6] **Thomas, D.S.** Economics of Additive Manufacturing / D.S. Thomas // In: Bian, L., Shamsaei, N., Usher, J. (eds.) *Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts: Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties*. – CRC Press, 2017. - 342 S.
- [7] **Юрасёв, Н.И.** Текущие проблемы передовых промышленных аддитивных технологий России на микро-, мезо- и макроуровне экономики / Н.И. Юрасёв // *Современная экономика: проблемы и решения*. - 2017. - № 9. - С. 76–82.
- [8] **Bourell, D.** Materials for additive manufacturing / D. Bourell, J.P. Kruth, M. Leu, G. Levy, D. Rosen, A.M. Beese, A. Clare // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. - 2017. - Vol. 66(2). - P. 659–681.
- [9] **Thompson, S.M.** An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics / S.M. Thompson, L. Bian, N. Shamsaei, A. Yadollahi // *Additive Manufacturing*. - 2015. - Vol. 8. - P. 36–62.
- [10] **Майоров, В.С.** Компьютерные системы поддержки принятия решений для лазерных технологических процессов обработки материалов / В.С. Майоров, С.В. Майоров, М.Ю. Стернин // *Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок* / под ред. В.М. Панченко: Физматлит, 2009. - С. 494–506.
- [11] **Бессмельцев, В.П.** Экспертная система для оптимизации режима лазерной микрообработки / В.П. Бессмельцев, Е.Д. Булушев, Н.В. Голошевский // *Известия вузов. Приборостроение*. - 2011. - Vol. 54(2). - С. 17–22.
- [12] **Aminzadeh, M.** Online quality inspection using Bayesian classification in powder-bed additive manufacturing from high-resolution visual camera images / M. Aminzadeh, T. Kurfess // *Journal of Intelligent Manufacturing*. - 2018. - Vol. 30. - P. 2505–2523.
- [13] **Wirth, F.** A physical modeling and predictive simulation of the laser cladding process / F. Wirth, K. Wegener // *Additive Manufacturing*. - 2018. - Vol. 22. - P. 307–319.
- [14] **Qi, X.** Applying Neural-Network-Based Machine Learning to Additive Manufacturing: Current Applications, Challenges, and Future Perspectives / X. Qi, G. Chen, Y. Li, X. Cheng, Ch. Li // *Engineering*. - 2019. - Vol. 5(4). - P. 721–729.
- [15] **Dass, A.** State of the Art in Directed Energy Deposition: From Additive Manufacturing to Materials Design / A. Dass, A. Moridi // *Coatings*. - 2019. – Vol. 9(7), P. 418.
- [16] **Babkin, K.D.** High-Speed Laser Direct Deposition Technology: Theoretical Aspects, Experimental Researches, Analysis of Structure, and Properties of Metallic Products / K.D. Babkin, V.V. Cheverikin, O.G. Klimova-Korsmik, M.O. Sklyar, S.L. Stankevich, G.A. Turichin, A.Ya. Travyanov, E.A. Valdaytseva, E.V. Zemlyakov // In: Anisimov, K. et al. (eds.) *Proceedings of the Scientific-Practical Conference "Research and Development - 2016"*. – Springer, Cham, 2018. - P. 501–509.
- [17] **Witherell, P.** Toward Metamodels for Composable and Reusable Additive Manufacturing Process Models / P. Witherell, S. Feng, T.W. Simpson, D.B. Saint John, P. Michaleris, Z. Liu, L. Chen, R. Martukanitz // *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. - 2014. - Vol. 136(6). - №061025. - P. 1–9.
- [18] **Roh, B.M.** Ontology-based laser and thermal metamodels for metal-based additive manufacturing / B.M. Roh, S.R.T. Kumara, T.W. Simpson, P. Michaleris, P. Witherell, I. Assouroko // In: *36th Computers and Information in Engineering Conference (Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference)*. – ASME Digital Collection, 2016. - Vol. 1A-2016. - P.1–8.
- [19] **Dinar, M.** A Design for Additive Manufacturing Ontology / M. Dinar, D.W. Rosen // *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. - 2017. - Vol. 17(2). - №021013. - P. 1–9.
- [20] **Jee, H.** A method for modularity in design rules for additive manufacturing / H. Jee, P. Witherell // *Rapid Prototyping Journal*. - 2017. - Vol. 23(6). - P.1107–1118.
- [21] **Musen, M.A.** The Protégé project: A look back and a look forward / M.A. Musen // *AI Matters*. - 2015. - Vol. 1(4). - P.4–12.
- [22] **Roh, B.M.** Ontology-Based Laser Metamodels and Visualization for Metal-Based Additive Manufacturing / B.M. Roh // Thesis. - 2017. - https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/16206.
- [23] **Gribova, V.V.** Control of Intelligent Systems / V.V. Gribova, A.S. Kleshchev, E.A. Shalfeeva // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. - 2010. - Vol. 49(6). - P.952–966.

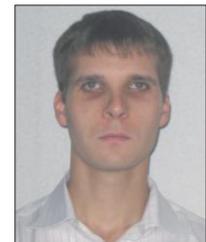
- [24] **Грибова, В.В.** Обеспечение жизнеспособности систем, основанных на знаниях / В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева // Информационные технологии. - 2019. - Т. 25, №12. - С.738–746.
- [25] **Грибова, В.В.** Облачная платформа IASaaS для разработки оболочек интеллектуальных сервисов: состояние и перспективы развития / В.В. Грибова, А.С. Клещев, Ф.М. Москаленко, В.А. Тимченко, Л.А. Федорищев, Е.А. Шалфеева // Программные продукты и системы. - 2018. - Т. 31, №3. - С.527–536.
- [26] **Варшавский, П.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П.П. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2009. - №2. - С.45–57.
- [27] **Heigel, J.C.** Thermo-mechanical model development and validation of directed energy deposition additive manufacturing of Ti-6Al-4V / J.C. Heigel, P. Michaleris, E.W. Reutzel // Additive manufacturing. - 2015. - Vol. 5. - P.9–19.
- [28] **Raghavan, A.** Heat transfer and fluid flow in additive manufacturing / A. Raghavan, H.L. Wei, T.A. Palmer, T. DebRoy // Journal of Laser Applications. - 2013. - Vol. 25(5). - P.1–8.

Сведения об авторах



Грибова Валерия Викторовна, 1965 г. рождения. Окончила Ленинградский политехнический институт (1989), д.т.н. (2007). Заведующая лабораторией интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, заместитель директора по научной работе, вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ в области искусственного интеллекта, проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях. AuthorID (РИНЦ): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631; ORCID: 0000-0001-9393-351X; Researcher ID (WoS): Q-4250-2016. gribova@dvo.ru.

Тимченко Вадим Андреевич, 1983 г. рождения. Окончил Институт математики и компьютерных наук Дальневосточного государственного университета (2005), к.т.н. (2011). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. В списке научных трудов более 50 работ в области искусственного интеллекта, проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях, специализированных программных моделей и систем. AuthorID (РИНЦ): 180470; Author ID (Scopus): 57201774103; ORCID: 0000-0002-1314-7656; Researcher ID (WoS): Q-4380-2016. vadim@dvo.ru.



Поступила в редакцию 22.05.2020, после рецензирования 25.05.2020. Принята к публикации 11.06.2020.

The concept of support for laser-based additive manufacturing on the basis of ontological approach

V.V. Gribova, V.A. Timchenko

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

Abstract

A general concept of software and information support for laser-based additive manufacturing of metal parts from powder compositions is proposed. It is based on an ontological two-level approach to the formation of knowledge about the processes of laser additive manufacturing. Under this approach, the ontology is clearly separated from the knowledge base. So subject-matter specialists can create and develop knowledge in the representation that they understand. The conceptual architecture of the decision support software for laser-based additive manufacturing processes is presented. Its information and software components are described. Information components are ontologies, databases of laser-based additive manufacturing system components, databases of materials for additive manufacturing, knowledge base and case database. The knowledge base contains formalized information on the settings of laser-based additive manufacturing modes that ensure compliance of the obtained metal parts with the requirements of the current industry-

specific guidelines (regulatory documents for this type of parts). The case database contains a structured description of the protocols for using laser technological equipment for additive manufacturing of metal parts from powder compositions. Software components are editors for creating and maintaining data and knowledge bases (controlled by the corresponding ontologies), decision support system based on both, knowledge and cases, and tool for cases structuring. There are also external tools for mathematical modelling of directed energy deposition physicochemical processes. When making decisions a hybrid approach that combines knowledge engineering methods and case-based search by analogy is proposed. The specialty of the approach is the continuous knowledge base update due to its improvement by experts and due to its verification in the process of accumulating cases.

Key words: *decision support systems, laser-based additive manufacturing, laser technological equipment, directed energy deposition, ontologies.*

Citation: *Gribova VV, Timchenko VA.* The concept of support for laser-based additive manufacturing on the basis of ontological approach [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(2): 176-189. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-176-189.

Acknowledgment: *This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project numbers 20-01-00449, 19-07-00244).*

List of figures

- Figure 1 - Conceptual scheme of the decision support software for laser-based additive manufacturing processes
- Figure 2 - A fragment of the ontology of technological operations (screen capture)
- Figure 3 - A fragment of the ontology of technological lasers database (screen capture)
- Figure 4 - A fragment of the ontology of metal powders database (screen capture)
- Figure 5 - A fragment of the case database ontology (screen capture)

References

- [1] **Frazier WE.** Metal additive manufacturing: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance* 2014; 23: 1917–1928.
- [2] **Sedlak J, Rican D, Piska M, Rozkosny L.** Study of Materials Produced by Powder Metallurgy Using Classical and Modern Additive Laser Technology. *Procedia Engineering* 2015; 100: 1232–1241.
- [3] **Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L.** 3D printing techniques in a medical setting: A systematic literature review. *BioMedical Engineering OnLine* 2016; 15(115): 1–21.
- [4] **Yang L, Hsu K, Baughman B, Godfrey D, Medina F, Menon M, Wiener S.** Additive Manufacturing of Metals: The Technology, Materials, Design and Production. Springer; 2017.
- [5] **Qi Q, Pagani L, Scott P, Xiang J.** A categorical framework for formalising knowledge in additive manufacturing. *Procedia CIRP* 2018; 75: 87–91.
- [6] **Thomas DS.** Economics of Additive Manufacturing. In: Bian, L., Shamsaei, N., Usher, J. (eds.) *Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts: Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties.* CRC Press; 2017.
- [7] **Yurasev NI.** The problems of Russian advanced industrial additive technologies in Micro, Meso and Macro economics [In Russian]. *Modern Economics: Problems and Solutions* 2017; 9: 76–82.
- [8] **Bourell D, Kruth JP, Leu M, Levy G, Rosen D, Beese AM, Clare A.** Materials for additive manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 2017; 66(2): 659–681.
- [9] **Thompson SM, Bianc L, Shamsaeia N, Yadollahi A.** An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics. *Additive Manufacturing* 2015; 8: 36–62.
- [10] **Mayorov VS, Mayorov SV, Sternin MYu.** Computer decision support systems for laser technological processes of material processing [In Russian]. In: Panchenko, V.M. (ed.) *Laser technologies of material processing: modern problems of fundamental research and applied development.* - Moscow: Fizmatlit; 2009.
- [11] **Bessmeltsev VP, Bulushev ED, Goloshevsky NV.** An expert system for laser micro-processing mode optimization [In Russian]. *Journal of Instrument Engineering* 2011; 54(2): 17–22.
- [12] **Aminzadeh M, Kurfess T.** Online quality inspection using Bayesian classification in powder-bed additive manufacturing from high-resolution visual camera images. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2018; 30: 2505–2523.

- [13] **Wirth F, Wegener K.** A physical modeling and predictive simulation of the laser cladding process. *Additive Manufacturing* 2018; 22: 307–319.
- [14] **Qi X, Chen G, Li Y, Cheng X, Li Ch.** Applying Neural-Network-Based Machine Learning to Additive Manufacturing: Current Applications, Challenges, and Future Perspectives. *Engineering* 2019; 5(4): 721–729.
- [15] **Dass A, Moridi A.** State of the Art in Directed Energy Deposition: From Additive Manufacturing to Materials Design. *Coatings* 2019; 9(7): 418.
- [16] **Babkin KD, Cheverikin VV, Klimova-Korsmik OG, Sklyar MO, Stankevich SL, Turichin GA, Travyanov AYa, Valdaytseva EA, Zemlyakov EV.** High-Speed Laser Direct Deposition Technology: Theoretical Aspects, Experimental Researches, Analysis of Structure, and Properties of Metallic Products. In: Anisimov, K. et al. (eds.) *Proceedings of the Scientific-Practical Conference "Research and Development - 2016"*. Springer, Cham; 2018: 501–509.
- [17] **Witherell P, Feng S, Simpson TW, Saint John DB, Michaleris P, Liu Z, Chen L, Martukanitz R.** Toward Metamodels for Composable and Reusable Additive Manufacturing Process Models. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME* 2014; 136(6), №061025: 1–9.
- [18] **Roh BM, Kumara SRT, Simpson TW, Michaleris P, Witherell P, Assourocko I.** Ontology-based laser and thermal metamodels for metal-based additive manufacturing. In: *36th Computers and Information in Engineering Conference (Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference)*. ASME Digital Collection; 2016, 1A-2016: 1–8.
- [19] **Dinar M, Rosen DW.** A Design for Additive Manufacturing Ontology. *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 2017; 17(2), №021013: 1–9.
- [20] **Jee H, Witherell P.** A method for modularity in design rules for additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal* 2017; 23(6): 1107–1118.
- [21] **Musen MA.** The Protégé project: A look back and a look forward. *AI Matters* 2015; 1(4): 4–12.
- [22] **Roh BM.** Ontology-Based Laser Metamodels and Visualization for Metal-Based Additive Manufacturing. Thesis 2017. https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/16206.
- [23] **Gribova VV, Kleshchev AS, Shalfeeva EA.** Control of Intelligent Systems. *Journal of Computer and Systems Sciences International* 2010; 49(6): 952–966.
- [24] **Gribova VV, Shalfeeva EA.** Ensuring the viability of knowledge-based systems [In Russian]. *Information Technologies* 2019; 25(12): 738–746.
- [25] **Gribova VV, Kleshchev AS, Moskalenko FM, Timchenko VA, Fedorishchev LA, Shalfeeva EA.** IACPaaS cloud platform for the development of intelligent service shells: current state and development prospects [In Russian]. *Software & Systems* 2018; 31(3): 527–536.
- [26] **Varshavsky PR, Ereemeev AP.** Case-based reasoning modeling in intelligent decision support systems [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making* 2009; 2: 45–57.
- [27] **Heigel JC, Michaleris P, Reutzler EW.** Thermo-mechanical model development and validation of directed energy deposition additive manufacturing of Ti–6Al–4V. *Additive manufacturing* 2015; 5: 9–19.
- [28] **Raghavan A, Wei HL, Palmer TA, DebRoy T.** Heat transfer and fluid flow in additive manufacturing. *Journal of Laser Applications* 2013; 25(5): 1–8.

About the authors

Gribova Valeria Viktorovna (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 and Control Processes of the FEB RAS, a Vice-President of Russian Association of Artificial Intelligence. She is the co-author of more than 200 publications in the fields of AI, informatics, program technologies and systems. AuthorID (RCI): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631; ORCID: 0000-0001-9393-351X; Researcher ID (WoS): Q-4250-2016. gribova@dvo.ru.

Timchenko Vadim Andreevich (b. 1983) graduated from the Far Eastern State University (Vladivostok-city) (2005), Ph.D. (2011). He is a Senior Researcher at the intelligent systems lab in the Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS. He is the co-author of more than 50 publications in the field of AI, informatics, program models, technologies and systems. AuthorID (RCI): 180470; Author ID (Scopus): 57201774103; ORCID: 0000-0002-1314-7656; Researcher ID (WoS): Q-4380-2016. vadim@dvo.ru.

Received May 22, 2020. Revised May 25, 2020. Accepted June 11, 2020.

Онтологический подход к формированию нормативного профиля при сертификации программного обеспечения

Ю.И. Бутенко

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация

Предложен подход к автоматизации процедуры формирования нормативного профиля при сертификации программного обеспечения. Отмечено, что в настоящее время практическое проведение экспертизы на этапе формирования нормативного профиля при сертификации программного обеспечения в значительной мере заключается в ручном анализе экспертами больших объёмов нормативной и проектной документации, представленной текстами на естественном языке. Это приводит к определённому субъективизму экспертных оценок, снижению их полноты и достоверности, а применение стандартных методов является неэффективным в силу их универсальности. Дан анализ процедуры сертификации и формирования нормативного профиля. Приведена структура нормативного профиля, выделены виды нормативных профилей, а также варианты его формирования. Рассмотрены типичные ошибки, которые могут возникнуть при автоматизации процедуры формирования нормативного профиля. Обоснована целесообразность использования онтологической среды для автоматизации процедуры формирования нормативного профиля. Описание предметной области сертификации программного обеспечения представлено в виде расширенной онтологической модели, которая включает в себя онтологию критериев качества программного обеспечения, онтологию нормативной базы сертификации программного обеспечения, онтологию ядра семантической целостности, онтологическую систему организации вывода на знаниях. Результаты исследований могут быть использованы при разработке интеллектуальной диалоговой системы поддержки принятия решений аудитором сертификационного центра с целью повышения эффективности работы аудитора за счёт автоматизации рутинного процесса, а также снижения риска принятия неверного решения при недостаточной квалификации лица, принимающего решение.

Ключевые слова: сертификация программного обеспечения, нормативный профиль, онтологическая система, стандарт, нормативная база.

Цитирование: Бутенко, Ю.И. Онтологический подход к формированию нормативного профиля при сертификации программного обеспечения / Ю.И. Бутенко // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №2(36). – С.190-200. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-190-200.

Введение

Сертификация – признанный в мире способ независимой оценки соответствия продукции, процессов и услуг установленным требованиям. Использование сертификации создаёт предпосылки для успешного решения ряда важных социальных и экономических проблем и задач. Целью сертификации программных средств и систем качества, обеспечивающих их жизненный цикл (ЖЦ), является контроль и заверение в качестве технологий и продукции, гарантирование их высоких потребительских свойств. Задача состоит в повышении эффективности затрат в сфере создания и использования конечного программного продукта, а также в повышении объективности оценок его характеристик и конкурентоспособности [1, 2].

Обязательная сертификация необходима для программных продуктов, в частности программного обеспечения (ПО), их производства, выполняющих особо ответственные функции, в которых недостаточное качество, ошибки или отказы могут нанести значимые убытки или угрожать жизни и здоровью людей. Под качеством ПО понимают совокупность свойств, обуславливающих его пригодность удовлетворять определённые потребности в соответствии

с его назначением [3]. При этом свойства ПО – это объективные свойства, которые проявляются при создании или эксплуатации ПО и обуславливают его различие и сходство с другими предметами.

Особенностью ПО является то, что оно не подвержено физическому износу и старению. Количество и характер отказов, связанных с ПО, является следствием внутренних дефектов и зависит от применения. Дефекты в ПО вносятся в процессе проектирования и обусловлены ошибками разработчиков. Ошибки пользователей при работе с ПО имеют место вследствие их недостаточной квалификации или из-за недостатков ПО, к которым следует отнести высокую сложность программы, неудобство использования, некачественную документированность [4].

Обеспечение функциональной безопасности и надёжности информационно-управляющих систем зависит от качества ПО. Вследствие этого, ПО имеет статус важного объекта нормативного регулирования, который в значительной степени определяет качество и безопасность информационно-управляющих систем в целом. Таким образом, особую важность приобретает обязательная сертификация ПО, которая является конечной процедурой гарантирования социально допустимых проектных уровней возникновения аварийных состояний через дефекты ПО [5].

1 Процедуры сертификации ПО

Особую значимость приобретает организация оценивания ПО, которое проводят в сертификационных центрах, в функции которых входит привлечение квалифицированных специалистов, способных быстро и достоверно оценить качество ПО. При этом качество оценивания определяется квалификацией экспертов и имеющимся в их распоряжении информационным ресурсом – базой нормативных документов. *Нормативный профиль* (НП) – гармонизированная с международными и национальными стандартами совокупность требований, предъявляемых к проекту или группе проектов [6].

Процедура сертификации ПО предусматривает решение ряда задач, среди которых следует выделить следующие: формирование НП; анализ процесса проектирования ПО и его оценки на основе НП; статистический анализ исходного кода ПО, который заключается в определении программных метрик по выбранному НП и выполнении семантического анализа; динамический анализ ПО: модульное тестирование методом белого и чёрного ящиков и интервальный анализ исходного кода; определение степени соответствия исходного кода ПО проектной документации и НП [6].

НП включает международные и отраслевые стандарты, а также различные регулирующие документы, разработанные в определённой предметной отрасли и определяющие функциональность широкого круга систем. Различают три вида НП: общий НП, частный НП и НП к объекту сертификации. Общий НП – совокупность международных и национальных стандартов или других нормативных документов, используемых в программной инженерии. Частный НП – это совокупность нескольких базовых стандартов (или подмножество одного) и других нормативных документов с чётко определёнными и гармонизированными подмножествами обязательных и факультативных возможностей, предназначенных для реализации заданной функции или группы функций. НП к объекту сертификации – совокупность требований нормативной базы, предъявляемых к объекту сертификации [1, 6].

Главной проблемой при проведении анализа процесса проектирования ПО является преобразование невидимых процессов в видимые. Наиболее распространённым методом моделирования процессов проектирования ПО стала методология *IDEF0 (Integrated Definition Function Modeling)*, принятая в качестве стандарта во многих странах. В связи с переходом к

новому инструментарию были разработаны специальные компьютерные программы, так называемые CASE-средства (*Computer-Aided Software Engineering*). Главная цель CASE состоит в том, чтобы отделить проектирование ПО от его кодирования и последующих этапов разработки, а также скрыть от разработчиков все детали среды разработки и функционирования ПО. Моделирование деловых процессов выполняют, главным образом, с помощью CASE-средств. К таким средствам относят *Bpwin* (PLATINUM technology), *Silverrun* (Silverrun technology), *Oracle Designer* (Oracle), *Rational Rose* (Rational Software) и другие. *BPwin* поддерживает три методологии моделирования: функциональное моделирование (*IDEF0*); описание бизнес-процессов (*IDEF3*); диаграммы потоков данных (*DFD*) [7].

Статистические методы используют при проведении инспекций и рассмотрении спецификаций компонентов без их выполнения. Техника статистического анализа заключается в методическом просмотре и анализе структуры программ, а также в доказательстве их правильности. Статистический анализ направлен на анализ документов, разработанных на всех этапах ЖЦ, и состоит в инспекции исходного кода и сквозного контроля ПО. Эффективность такой проверки заключается в том, что привлекаемые эксперты пытаются взглянуть на проблему «со стороны» и подвергают её всестороннему анализу. Указанные приёмы позволяют на ранних этапах проектирования выявить ошибку или дефекты путём многократного просмотра исходных кодов ПО. Символьное тестирование используют с целью проверки отдельных участков программы на входных значениях – символах [8].

Динамические методы используют в процессе выполнения программ. Они базируются на графе, который связывает причины ошибок с ожидаемыми реакциями на эти ошибки. В процессе тестирования накапливают информацию об ошибках, которую используют при оценке надёжности и качества ПО. Динамическое тестирование ориентировано на проверку правильности ПО на множестве тестов, выполненных на ПО, с целью проверки и сбора данных на этапах ЖЦ и проведения измерения отдельных элементов тестирования для оценивания характеристик качества, указанных в требованиях. Оно базируется на систематических, статистических, вероятностных и имитационных методах [8, 9].

До недавнего времени решение указанных задач, как правило, не вызывало осложнений, так как эксперты руководствовались опытом и интуицией, приобретёнными в результате достаточно долгой работы по анализу ПО сравнительно узкого класса систем.

Устоявшаяся тенденция к расширению функций управляемого объекта, реализованных программно, приводит к увеличению объёма и сложности ПО. Повышение разнообразия самих объектов, с одной стороны, и необходимость сокращения сроков экспертизы и повышения требований к качеству оценки, с другой стороны, повлекли ряд проблем в деятельности эксперта, к которым относятся:

- большая доля рутинной работы, связанной с анализом существенно увеличенной за счёт международных стандартов нормативной базы и необходимостью формирования НП требований к ПО уникальных объектов;
- необходимость статистического и динамического анализа крупных программных проектов, которые содержат сотни тысяч и миллионы операторов;
- рост субъективности при оценке соответствия выходного кода ПО проектной документации НП [6]. Подробная информация о влиянии человеческого фактора в программной инженерии приведена в [10].

Ошибки ПО или недостаточное качество программных средств, а также данных, способны нанести ущерб, который значительно превысит эффект от их использования.

Необходимым условием достижения высокого уровня надёжности и безопасности ПО является наличие эффективного нормативно-методического обеспечения и широкомасштабное использование инструментальных средств поддержки процессов сертификации, которые

отражают развитие стандартизации в области информационных технологий и программной инженерии [9]. Подробная информация о выборе тестов, методах подготовки тестов, требования к генерации динамических тестов и прочее для испытаний ПО приведена в [2].

Практическое проведение экспертизы на этапе формирования НП до настоящего времени в значительной мере заключается в ручном анализе экспертами больших объёмов нормативной и проектной документации, представленной текстами на естественном языке. Это приводит к определённому субъективизму экспертных оценок, снижению их полноты и достоверности. Необходимость преодоления указанных проблем обуславливает актуальность разработки и использования компьютеризированных методов формирования НП для сертификации ПО [4].

2 Формирование НП как одного из главных этапов сертификации ПО

Одной из главных задач при разработке и сертификации информационно-управляющих систем является составление требований к системе. Как показывает опыт индустрии информационных технологий и анализ работ в указанной области, вопросы, связанные с созданием требований к системе и управление требованиями имеют критически важное влияние на проекты и возможность их успешной реализации [11, 12]. Обзор нормативной базы программной инженерии в разработке систем с интенсивным использованием ПО приведён в [13].

НП представляет собой комбинацию нормативных документов и/или их частей и может быть сформирован на основе:

- только одного нормативного документа;
- определенной части только одного нормативного документа;
- двух и более нормативных документов;
- частей двух или более нормативных документов;
- одного базового документа, дополненного частями одного или нескольких нормативных документов [6].

В процессе автоматизации информационного поиска в коллекции сложно структурированных текстов стандартов с целью формирования НП для сертификации ПО вероятными являются три группы ошибок.

- Ошибки *полноты профиля*: неучтённая информация – значимое требование или реакция ПО не включены в профиль или вообще не определены; посторонняя информация – нет потребности или вообще не используется информация, представленная в требовании.
- Ошибки *глубины профиля*: неоднозначность информации - требование имеет неоднозначную интерпретацию через использование нескольких терминов для определения одной характеристики или использования терминов, имеющих разное значение в разных контекстах; противоречивость информации - два или больше требования противоречат друг другу.
- Ошибки *формулирования требований*: ложный факт - требование декларирует факт, невыполнимый в условиях, определённых для системы; ложное структурирование - ошибки, связанные с включением требования в неподходящий раздел [14].

Большинство требований нормативных документов носят качественный характер и отражают базовые и наиболее устойчивые аспекты создания ПО. Во время реализации конкретных программных проектов эти требования должны быть детализированы и дополнены показателями, которые оценивают степень их выполнения. Детальный анализ требований нормативных документов, выдвинутых ПО, и их систематизация выполнены в [4]. На верхнем уровне классификационной иерархии требования к ПО распределены на требования нормативных документов и требования технического задания. По типу требования различа-

ются на общие и функциональные, а по объекту задачи – требования к программному продукту и процессам его создания.

При поиске требований в коллекции сложноструктурированных текстов стандартов недостаточно получить лишь список релевантных документов в качестве поисковой выдачи из-за значительного объёма и высокой сложности документов. Повышение эффективности поиска в таких документах можно достичь, если в качестве поисковой выдачи будут получены не только документы, но и цитаты из них – точные дословные выдержки из текста, имеющие смысловую завершенность. Цитаты можно получить с помощью анализа иерархической структуры текстов стандартов и нормативной документации, а потом они могут быть уточнены через использование семантического анализа. В результате будет получена компактная поисковая выдача, где отсечён значительный объём информации, нерелевантный запросу.

3 Онтологическая среда как основа обработки текстов стандартов при автоматизации сертификации ПО

Требования к ПО представлены в виде текстов на естественном языке, однако стандартные средства семантической обработки текстов не могут придать нужного уровня глубины и полноты НП из-за своей универсальности [15-17].

В [18] рассмотрены алгоритмы понимания научных и специальных текстов на уровне макроконтекста. Однако применение данных методов для решения задачи формирования НП недостаточно эффективно из-за специфики предметной области (ПрО) сертификации ПО. Так, этап выдвижения смысла текста опускается в силу того, что аудитор сертификационного центра, в число обязательных задач которого входит формирование НП, имеет определённый объём знаний о содержании каждого нормативного документа через специфику своей деятельности.

Таким образом, возникает необходимость в разработке специальных моделей и методов формального представления текстов и процедуры анализа семантики, учитывающих особенности ПрО сертификации ПО [19]. К тому же использование стандартных средств семантического анализа также осложнено тем, что тексты нормативной базы как объекты лингвистических исследований мало изучены. Более того, спорным вопросом в лингвистике остаётся стилистическая принадлежность текстов стандартов, что делает необходимым проведение лингвистического анализа текстов стандартов, так как именно они являются источником знаний для формирования НП при сертификации ПО.

На рисунке 1 представлена структура НП для сертификации ПО. Такое представление НП упрощает работу аудитора сертификационного центра за счёт представления НП как совокупности цитат к объекту сертификации из текстов стандартов. То есть аудитор работает не с полными текстами стандартов, а с дословными выдержками из текстов стандартов.

С целью поддержки решения задачи формирования НП целесообразно использовать онтологическую систему как основу для компьютерной обработки текстов при автоматизации сертификации ПО. Онтологическая система для формирования НП при сертификации ПО показана на рисунке 2. В её состав входят онтологии: критериев качества ПО, стандартов, предметных лексических единиц (ЛЕ), предикатных ЛЕ, запроса, ядра семантической целостности (ЯСЦ).

Работа в рамках системы начинается с онтологии запроса, сформированной на основании вопроса, сформулированного аудитором сертификационного центра, где выделены предметная и предикатная ЛЕ.

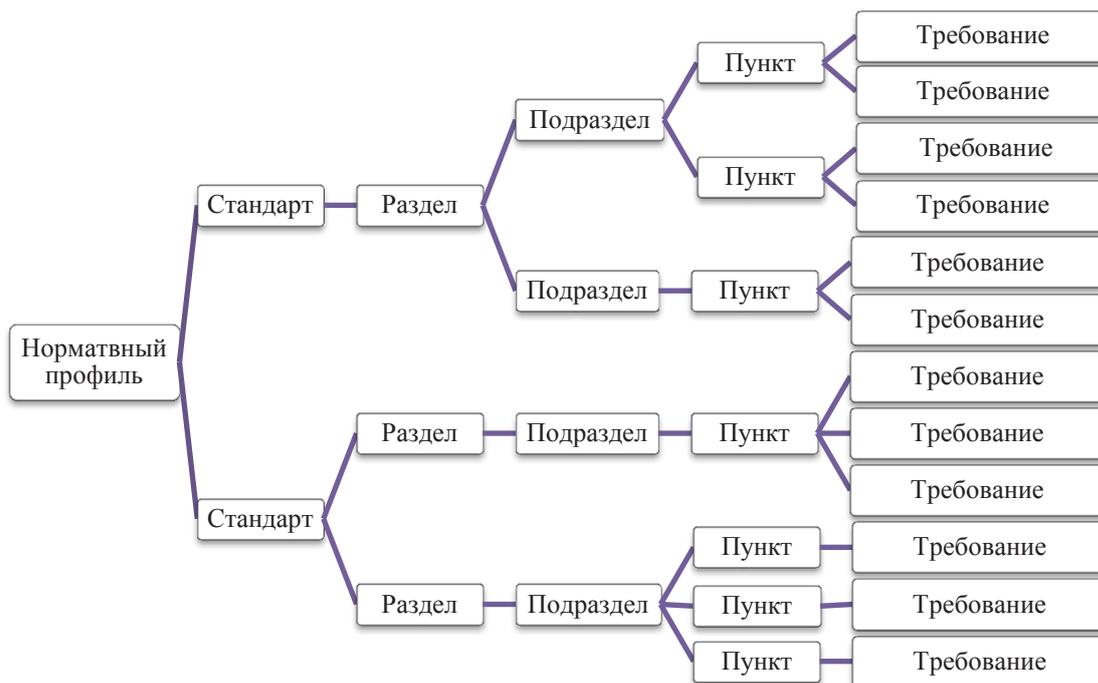


Рисунок 1 - Структура НП при сертификации ПО

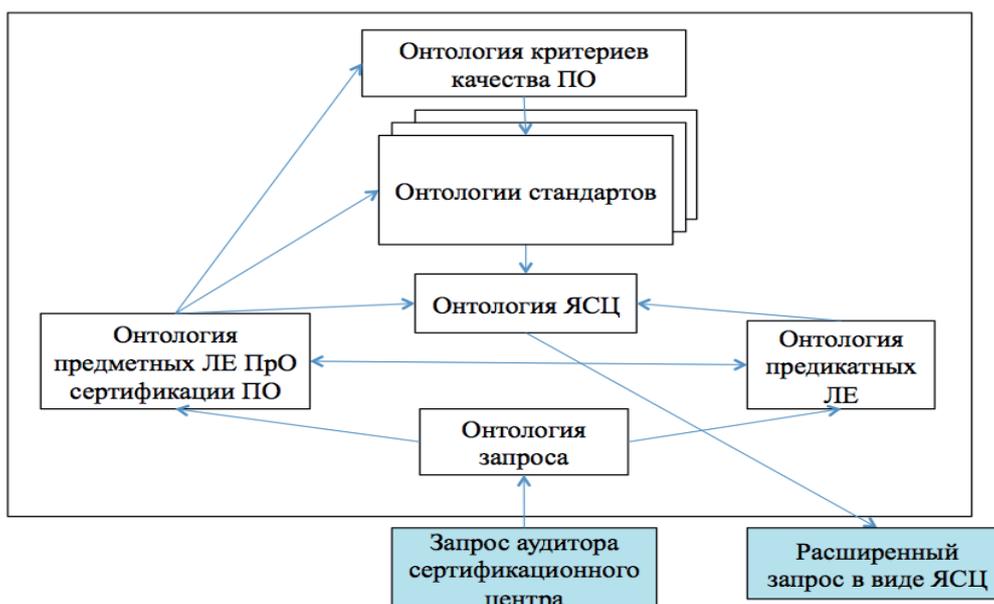


Рисунок 2 – Онтологическая система для формирования НП требований к ПО

Пример. Запрос аудитора сертификационного центра, сформулированный следующим образом: Что включает в себя отчёт о верификации ПО? *Отчёт о верификации ПО* является предметной ЛЕ, а *включать* – предикатной ЛЕ соответственно. На рисунке 3 представлен фрагмент онтологии предметных ЛЕ и выделена ЛЕ из запроса аудитора.

На следующем этапе (см. рисунок 4) необходимо расширить запрос путём добавления родовидовых понятий, относящихся к запросу.

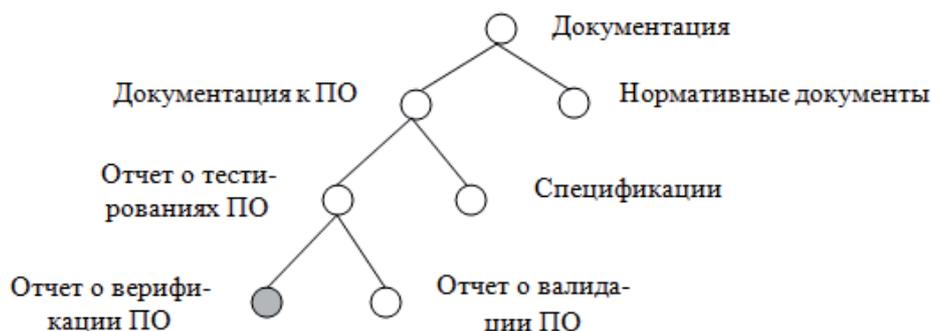


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии предметных лексических единиц



Рисунок 4 – Фрагмент онтологии предметных и предикатных лексических единиц

Таким образом, к поисковому запросу добавлены предметные ЛЕ «Документ» и «Отчёт о тестированиях ПО», и предикатные ЛЕ, обозначающие фиксацию информации, – содержать, отмечать, указывать, а ЯСЦ приобретает вид:

$$C = (\text{отчёт о тестировании ПО} \times \text{включать}) \vee (\text{отчёт о тестировании ПО} \times \text{отмечать}) \vee (\text{отчёт о тестированиях ПО} \times \text{содержать}) \vee (\text{отчёт о тестировании ПО} \times \text{подавать}) \vee (\text{отчёт о тестировании ПО} \times \text{отображать}) \vee (\text{отчёт о тестировании ПО} \times \text{указывать}) \vee (\text{отчёт} \times \text{включать}) \vee (\text{отчёт} \wedge \text{отмечать}) \vee (\text{отчёт} \times \text{содержать}) \vee (\text{отчёт} \times \text{подавать}) \vee (\text{отчёт} \times \text{отображать}) \vee (\text{отчёт} \times \text{указывать}) \vee (\text{документ} \times \text{включать}) \vee (\text{документ} \times \text{отмечать}) \vee (\text{документ} \times \text{содержать}) \vee (\text{документ} \times \text{подавать}) \vee (\text{документ} \times \text{отражать}) \vee (\text{документ} \times \text{отмечать}).$$

На основе перечня текстовых файлов стандартов и перечня запросов для информационного поиска требований к объекту сертификации проводится поиск требований. Результатом этого этапа является перечень цитат из текстов стандартов, содержащих требования к объекту сертификации. Пример релевантной поисковой выдачи на запрос аудитора сертификационного центра [20].

Отчёт о тестированиях ПО

8.2.3.1.3.1 В отчёте о тестированиях ПО должны быть представлены результаты верификации, описанные в спецификации тестирований ПО и устанавливающие, работает или нет ПО в соответствии со спецификацией проекта ПО.

8.2.3.1.3.2 В данном документе должны быть отмечены все расхождения между проектом и реализацией, обнаруженные в процессе тестирований.

8.2.3.1.3.3 Отчёт о тестированиях ПО должен включать следующие пункты, как на уровне модуля, так и на уровне основного проекта...

В связи с тем, что ЛЕ в текстах стандартов носят обобщённо-отвлечённый характер, а значимая информация содержится в названии самого стандарта либо его разделов, проводится поиск стандартов, в заголовках которых содержатся предметные ЛЕ. Пример нерелевантной поисковой выдачи на запрос аудитора сертификационного центра [20].

Программные аспекты отчёта о валидации системы

10.3.1 В отчёте о валидации системы должны быть отражены результаты программных аспектов валидации системы.

10.3.2 В отчёте должны быть указаны техническое обеспечение, ПО и конфигурация использованной системы, а также использованное оборудование и его калибровка и использованные модели при моделировании.

10.3.3 В данном отчёте также должны быть указаны любые отклонения.

10.3.4 В данном отчёте должны быть обобщены результаты валидации системы.

10.3.5 В данном отчёте должна быть дана оценка соответствия системы всем требованиям.

На следующем этапе на основе перечня требований происходит формирование НП в соответствии с классификатором нормативной базы или вариантов формирования НП, как комбинации нормативных документов и/или их частей из нормативной базы. Результатом этого этапа является НП в виде текстового файла, в котором представлен перечень требований к объекту сертификации, структура которого представлена на рисунке 1.

Заключение

Процедура сертификации ПО включает: формирование НП, анализ процесса проектирования ПО, статистический анализ исходного кода ПО, динамический анализ ПО, определение степени соответствия исходного кода ПО проектной документации и НП. Выделены три вида НП: общий НП, частный НП и НП к объекту сертификации. Представлены варианты формирования НП, как комбинации нормативных документов и/или их частей из профилирующей базы. В процессе поиска требований к объекту сертификации в коллекции сложно структурированных текстов стандартов с целью формирования НП для сертификации ПО вероятными являются ошибки полноты, глубины НП и ошибки формулирования требований. В связи с тем, что требования к ПО представлены в виде текстов на естественном языке, использование семантической составляющей является средством устранения ошибок. Решение задачи формирования НП целесообразно проводить с использованием онтологической среды, как основы для компьютерной обработки текстов при автоматизации сертификации ПО.

Список источников

- [1] *Kharchenko, V.* Fault insertion testing of FPGA-based NPP I&C systems: SIL certification issues / V. Kharchenko, O. Odarushchenko, V. Sklyar, A. Ivasyuk // Proceedings of the 22th International Conference on Nuclear Engineering, Prague, Czech Republic, July 7–11, 2014. – p.5.
- [2] *Гвоздев, В.Е.* Предупреждение дефектов на ранних стадиях проектирования аппаратно-программных комплексов на основе положений теории интерсубъективного управления / В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, Л.Р. Черняховская // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №4(22). - С.452-464.
- [3] ISO/IEC 9126:1991. Information Technology – Software Product Quality. – Montréal: ISO/IEC JTC1/SC7, 1991. – 33 p.
- [4] *Гвоздев, В.Е.* Модели возникновения ошибок на предпроектной стадии разработки компонент информационно-вычислительных систем / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.А. Насырова // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №1. - С.73-86. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [5] *Сергиенко, В.В.* Калибровка методов измерения инвариантов критического программного обеспечения: профиль инъектируемых тестовых дефектов / В.В. Сергиенко, Б.М. Конорев, Л.Г. Новы, Г.Н. Чертков // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2008. – № 5. – С.161–167.
- [6] *Шостак, И.В.* Подход к автоматизации процесса формирования нормативного профиля при сертификации программных продуктов / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко // Системы обработки информации. – Харьков: ХУПС. – 2010. – № 8 (89). – С.122–126.

- [7] **Volochiy, B.** Automation of quantitative requirements determination to software reliability of safety critical NPP I&C systems / B. Volochiy, O. Mulyak, L. Ozirkovskiy, V. Kharchenko // 2016 Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO), 2016. – p.337-346.
- [8] **Лаврищева, Е.М.** Методы и средства инженерии программного обеспечения / Е.М. Лаврищева, В.А. Петрухин. – М.: МФТИ, 2006. – 304 с.
- [9] **Vilkomir, S.A.** The Formalized Models of an Evaluation of a Verification Process of Critical Software / S.A. Vilkomir, V.S. Khasrchenko // Proceedins PSAM5, (November 27 – December 1, 2000). – Osaka, Japan. – Vol.4. – p.2383-2388.
- [10] **Гвоздев, В.Е.** Эвергетика как методологическая основа управления выявлением дефектов на предпроектной стадии жизненного цикла систем обработки данных / В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №1(27). – С.152-166. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-152-166.
- [11] **Леффингуэлл, Д.** Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / Д. Леффингуэлл, Д. Уидриг. – М.: Вильямс, 2002. – 448 с.
- [12] **Липаев, В.В.** Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени / В.В. Липаев. Монография. – М: Институт системного программирования РАН, 2013. – 207 с.
- [13] **Kharchenko, V.** Profiling of Software Requirements for the Pharmaceutical Enterprise Manufacturing Execution System / V. Kharchenko, O. Gordieiev, A. Fedoseeva // Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology. Springer, Cham, 2016, pp.67-92.
- [14] **Андрашов, А.А.** Таксономические модели профилирования требований информационно-управляющих систем критического применения / А.А. Андрашов // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2010. – №7 (48). – С.104–108.
- [15] **Shostak, I.V.** Problems in Automation of Critical Software Expertise / I.V. Shostak, I.I. Butenko // The First International Workshop Critical Infrastructure Safety and Security «CrISS-DeSSert'11». – 2011. – Vol. № 2. – P.269–273.
- [16] **Бутенко, Ю.И.** Исследование свойств языка стандартов как экземпляра класса языков для специальных целей в контексте автоматизации процедуры сертификации / Ю.И. Бутенко, В.И. Шостак // Интеллектуальные системы и прикладная лингвистика: тез. докл. IV Всеукр. науч.-практ. конф. – Харьков, 2015. – С.20–23.
- [17] **Шостак, И.В.** Семантическая модель языковых объектов для автоматизации процесса сертификации систем критического применения / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко // Инженерный журнал: наука и инновации. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013, №12. <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1165.html>.
- [18] **Gavrilova, T.A.** Ontology design and individual cognitive peculiarities: A pilot study / T.A. Gavrilova, I.A. Leshcheva // Expert systems with Applications, 2015. – P.3883-3892.
- [19] **Globa, L.** Increasing web services discovery relevancy in the multi-ontological environment /, L. Globa, M. Kovalskiy, O. Stryzhak // The series "Advances in Intelligent and Soft Computing" (AISC), Springer, 2015. – P.335-344.
- [20] Атомные электростанции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Программное обеспечение компьютерных систем, выполняющих функции категории А: ГОСТ Р МЭК 60880. – М.: Стадартинформ, 2011. – 90 с.

Сведения об авторе



Бутенко Юлия Ивановна, 1987 г. рождения. Окончила Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (2009), к.т.н. (2015), доцент кафедры «Теоретическая информатика и компьютерные технологии» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Автор 50 работ в области информационных технологий и компьютерной лингвистики. AuthorID (РИНЦ): 814099; Author ID (Scopus): 57212144571; ORCID 0000-0002-9776-5709; Researcher ID (WoS): AAN-1049-2020. iubutenko@bmsu.ru.

Поступила в редакцию 26.03.2020, после рецензирования 06.05.2020. Принята к публикации 26.05.2020.

Ontology approach to normative profiles forming at software certification

Iu.I. Butenko

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract

The paper describes the methodology for automation of normative profiles forming in software certification. It is noted that currently, the practical evaluation for software certification at the stage of normative profiles forming is mainly a manual analysis of large volumes of normative and project documentation represented by texts in natural language. It leads to certain subjectivity of expert assessments, reduces their completeness and reliability, and the use of standard methods is ineffective due to their universality. The degree of automation of the certification procedure, in general, and normative profiles forming, in particular, are analyzed. The structure of the regulatory profile, the types of regulatory profiles, as well as options for its formation are given. The typical errors that can occur when automating the procedure of normative profiles forming are discussed. It is proved to use the ontological environment for the process automation of normative profiles forming. The description of the subject area of software certification is presented in the form of an extended ontological model, which includes the ontology of software quality criteria, the ontology of the standard database of software certification, the ontology of the core of semantic integrity, and the ontological system of the organization of output on knowledge. The results of the research can be used in the development of an intelligent decision-making dialogue system for the auditor of the certification center in order to improve the efficiency of the auditor's work by automating the routine process, as well as reducing the risk of making the wrong decision due to insufficient qualification of the person making the decision.

Key words: *software certification, normative profile, ontological system, standard, normative base.*

Citation: *Butenko Iu.I. Ontology approach to normative profiles forming at software certification [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(2): 190-200. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-190-200.*

List of figures

Figure 1 – Structure of normative profiles at software certification

Figure 2 – Ontological system for establishing normative profiles for software requirements

Figure 3 – A fragment of the ontology of subject lexical units

Figure 4 – A fragment of the ontology of subject and predicate lexical units

References

- [1] **Kharchenko V, Odarushchenko O, Sklyar V, Ivasyuk A.** Fault insertion testing of FPGA-based NPP I&C systems: SIL certification issues // Proceedings of the 22th International Conference on Nuclear Engineering, Prague, Czech Republic, July 7–11, 2014. P.5.
- [2] **Gvozdev VE, Blinova DV, Chernyakhovskaya LR.** Hardware-software complexes on the basis of the positions of the theory of intersubjective management [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 452-464. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-452-464.
- [3] ISO/IEC 9126:1991. Information Technology – Software Product Quality. – Montréal: ISO/IEC, 1991. 33 p.
- [4] **Gvozdev VE, Bezhaeva OY, Nasyrova RA.** Models of errors at the pre-design stage of the development of information and computing systems components [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 73-86. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [5] **Sergienko VV, Konorev BM, Novyi LG, Chertkov GN.** Calibration of measurement methods of invariants-critical software: profile of the injected test defects [In Russian]. *Radioelectronic and computer systems*. - Kharkov: NAKU "KHAI". 2008; 5: 161–167.
- [6] **Shostak IV, Butenko IuI.** Approach to automation of the normative profile formation process at software product certification [in Russian]. *Information processing systems*. - Kharkov: HUPS. 2010; 8(89): 122–126.
- [7] **Volochiy B, Mulyak O, Ozirkovskiy L, Kharchenko V.** Automation of quantitative requirements determination to software reliability of safety critical NPP I&C systems // 2016 Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO), 2016. P.337-346.

- [8] **Lavrishcheva EM, Petrukhin VA.** Methods and means of software engineering [In Russian]. Moscow: MFTI, 2006. 304 p.
- [9] **Vilkomir SA, Khasrchenko VS.** The Formalized Models of an Evaluation of a Verification Process of Critical Software // Proceedings PSAM5, (November 27 - December 1, 2000). Osaka, Japan. Vol.4. P.2383-2388.
- [10] **Gvozdev VE, Chernyakhovskaya LR, Blinova DV.** Evergetics as a methodological basis for managing of defects identification at the pre-design stage of data processing systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 152-166. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-152-166.
- [11] **Leffingwell D, Widrigg D.** Principles of Working with Software Requirements. Uniform approach [In Russian]. - Moscow: Williams, 2002. 448 p.
- [12] **Lipaev VV.** Reliability and functional safety of real time software complexes: Monography [In Russian]. Moscow: Institute for System Programming of RAS, 2013. 207 p.
- [13] **Kharchenko V, Gordieiev O, Fedoseeva A.** Profiling of Software Requirements for the Pharmaceutical Enterprise Manufacturing Execution System. // Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology. Springer, Cham, 2016, p.67-92.
- [14] **Andrashov AA.** Taxonomic models of the requirements profiling for the information control systems of critical application [in Russian]. Radio-electronic and computer systems. Kharkov: NAKU "KHAI". 2010; 7(48): 104–108.
- [15] **Shostak IV, Butenko IuI.** Problems in Automation of Critical Software Expertise [In Russian]. The First International Workshop Critical Infrastructure Safety and Security "CrISS-DeSSert'11". 2011; 2: 269–273.
- [16] **Butenko IuI, Shostak VI.** Study of the properties of standard language as a copy of the class of languages for special purposes in the context of automation of certification procedures [In Russian]. Intelligent systems and applied linguistics: thesis IV All-Ukrainian scientific-practical conference. Kharkov, 2015. P.20–23.
- [17] **Shostak IV, Butenko IuI.** Semantic model of language objects for process automation of critical application systems certification [In Russian]. Engineering Journal: science and innovations. Moscow: Publisher of MSTU named after N.E. Bauman. 2013, No12. <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1165.html>.
- [18] **Gavrilova TA, Leshcheva IA.** Ontology design and individual cognitive peculiarities: A pilot study. // Expert systems with Applications, 2015. P.3883-3892.
- [19] **Globa L, Kovalskyi M, Stryzhak O.** Increasing web services discovery relevancy in the multi-ontological environment // The series "Advances in Intelligent and Soft Computing" (AISC), Springer, 2015. P.335-344.
- [20] Nuclear power plants. Safety and control systems. Computer systems software that perform category A functions: GOST R IEC 60880. Moscow: Stadar-inform, 2011. - 90 p.

About the author

Butenko Iuliia Ivanovna, (b. 1987) graduated from Zhukovsky National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute" in 2009, PhD (2015). Associate Professor at Bauman Moscow State Technical University (Department of Theoretical Informatics and Computer Technologies). Author of 50 works in the field of Information technologies and computer linguistics. AuthorID (RSCI): 814099; Author ID (Scopus): 57212144571; ORCID 0000-0002-9776-5709; Researcher ID (WoS): AAN-1049-2020. iubutenko@bmstu.ru

Received March 26, 2020. Revised May 6, 2020. Accepted May 26, 2020.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.9:658.512

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-201-217

Особенности наследования информации в задачах интеграции систем технической подготовки производства**А.В. Щёкин***Мордовский государственный национальный исследовательский университет им. Н.П.Огарёва, Саранск, Россия***Аннотация**

Рассматриваются особенности наследования информации в технической подготовке производства при передаче данных из систем конструкторского проектирования (CAD) в системы технологической подготовки производства (CAM). К этим особенностям относятся объектно-ориентированный характер передаваемой информации и влияние PLM-контекстов на семантику инженерных данных. Объектно-ориентированный подход подразумевает наличие в процессах передачи информации «родителей» и их «потомков» и ассоциативных связей между ними, что делает возможным повторное использование проектных решений. UML-представление позволяет наглядно описать различные схемы наследования информации при интеграции CAM-систем с системами конструкторского проектирования. Эти схемы необходимо учитывать при реализации сквозных конструкторско-технологических проектов с высоким уровнем ассоциативности данных. Передача информации между подсистемами цифрового PLM-пространства предприятия происходит под влиянием информационных контекстов. Дано определение PLM-контекста как онтологии этапа жизненного цикла изделия, выступающего внешней информационной средой по отношению к интегрируемым приложениям. Разработан предварительный вариант онтологии предметной области, связанной с технологической подготовкой производства. Информацию об этапах жизненного цикла изделия предложено хранить непосредственно внутри 3D-модели объекта в форматах онтологического представления знаний на базе стандарта XML. Особенности наследования конструкторской информации рассматриваются на примере интеграции разрабатываемой CAM-системы с её базовой CAD-платформой КОМПАС-3D. Предложена стратегия автоматизации процесса влияния PLM-контекстов на значения передаваемых данных.

Ключевые слова: интеграция, техническая подготовка производства, CAD, CAM, CAPP, онтология, 3D-модель, КОМПАС-3D, XML, API.

Цитирование: Щёкин А.В. Особенности наследования информации в задачах интеграции систем технической подготовки производства / А.В. Щёкин // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, № 2(36). – С.201-217. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-201-217.

Введение

Сложность семантической интеграции корпоративных приложений требует совместного применения принципов объектно-ориентированного моделирования, онтологического проектирования и современных подходов к формализации контекста. Технология объектного моделирования сегодня трактуется как универсальный способ представления знаний о предметной области (ПрО). «Ядро современных информационных технологий составляют объектные методы, искусственный интеллект и модели данных, причём рассматриваемые не по отдельности, а в неразрывной связи» [1]. В статье предпринята попытка объектно-

ориентированного описания механизма передачи данных от конструкторской 3D-модели к 3D-модели, используемой технологом при технологической подготовке производства.

Онтологии ПрО в задачах интеграции следует рассматривать не только как способ представления знаний об этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия, но и как глобальные интегрирующие модели данных (эталонные метаописания), обобщающие информацию, полученную от корпоративных приложений.

Аналогично тому, как семантика слов и предложений естественного языка зависят от контекста их применения, передача информации между подсистемами цифрового *PLM*-пространства (*Product Lifecycle Management* - прикладное программное обеспечение для управления ЖЦ продукции) предприятия происходит под воздействием внешнего информационного поля. Игнорирование этого факта приводит к потере или искажению актуальных значений передаваемых данных. Информационное поле предприятия представляет собой внешнюю среду по отношению к интегрируемым приложениям систем автоматизированного проектирования (САПР или *CAD, Computer-Aided Design*). Эта среда имеет иерархическую структуру, состоящую из вложенных друг в друга информационных контекстов, ближайшими из которых к задачам интеграции являются ПрО этапов ЖЦ изделия. При передаче данных между корпоративными информационными системами необходимо учитывать изменение значений инженерных данных под влиянием этих контекстов.

1 Проблемы интеграции корпоративной информации

Основные аспекты проблемы интеграции информационных систем рассмотрены в публикации [2]. К ним относятся архитектура системы интеграции, уровень взаимодействия данных (физический, логический, семантический), неоднородность источников информации, общая модель данных, способ представления интегрированных данных. Эти аспекты и связанные с ними задачи имеют непосредственное отношение к интеграции САПР и иных корпоративных приложений. При этом область САПР имеет некоторые особенности интеграции. Построение сквозных инженерных проектов предполагает создание между этапами ЖЦ изделия ассоциативных связей по типу «родитель-потомок». Сквозной проект — это когда изменения, внесённые в начальную стадию проекта, автоматически отображаются в последующих стадиях без дублирования информации в ручном режиме. Процессы обмена информацией между корпоративными приложениями следует рассматривать не просто как передачу данных, а как наследование информации, которое характеризуется наличием в этих процессах «родителей» и «потомков» и ассоциативных связей между ними, что делает возможным повторное использование проектных решений.

Наследование информации происходит под влиянием информационных контекстов. Например, при разработке технологического процесса необходимо учитывать текущее наличие режущих инструментов, оборудования, актуальные свойства материалов и иные факторы, информация о которых расположена за пределами среды технологического проектирования. Контекст в задачах интеграции — это всё, что не участвует непосредственно в процессе передачи информации между интегрируемыми приложениями, но влияет на значения передаваемых данных.

С учётом этих двух обстоятельств в процессе интеграции корпоративной информации можно выделить четыре стадии преобразования данных: считывание информации из приложения-источника, преобразование формата данных через эталонную модель, создание ассоциативных связей, корректировка значений данных с учётом влияния информационных контекстов. Этим стадиям можно сопоставить четыре проблемы интеграции (рисунок 1), расположив их на четырёх уровнях.

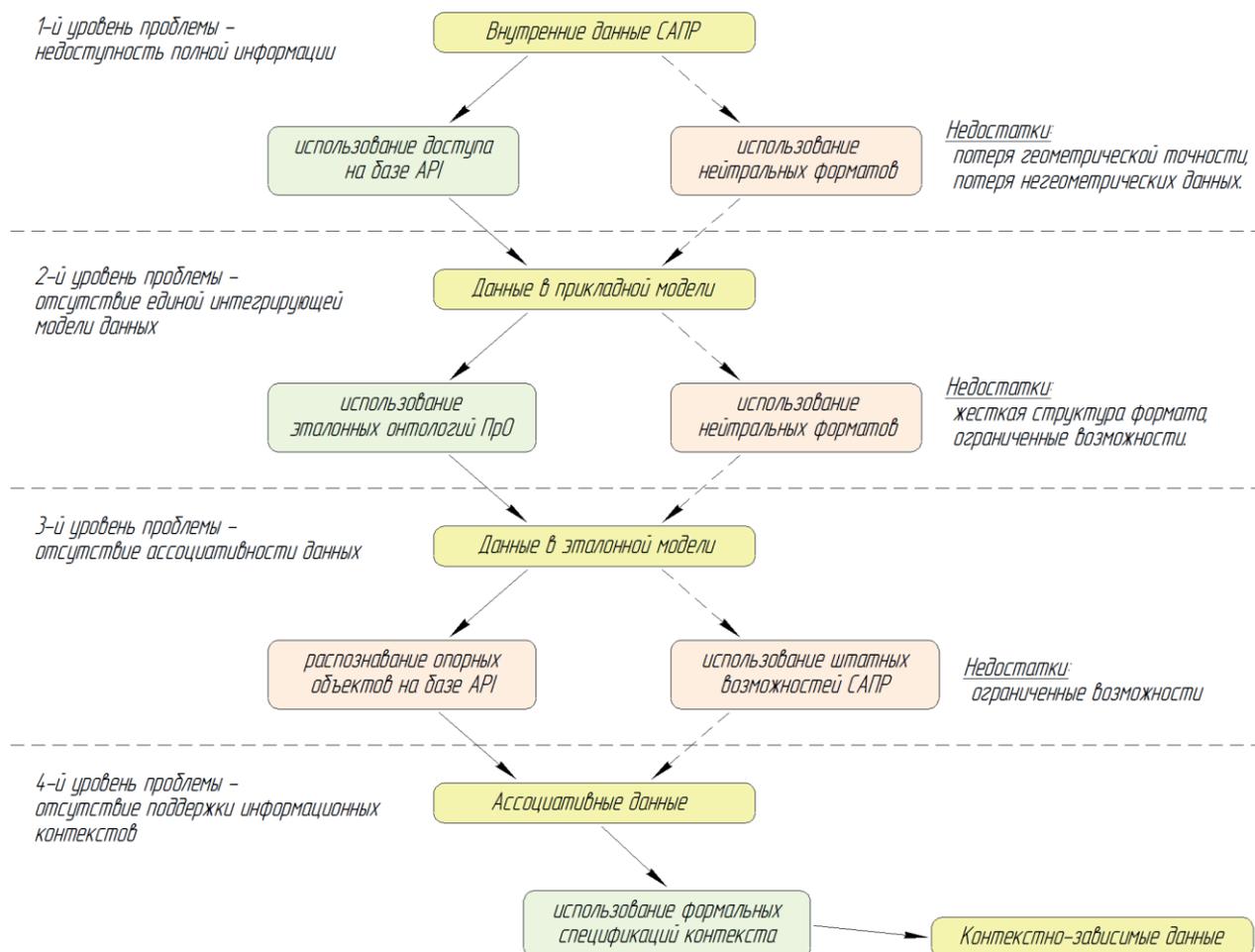


Рисунок 1 – Уровни проблемы интеграции корпоративных данных

Недоступность полной информации от приложений САПР является первым препятствием в реализации сквозных инженерных проектов. Под «полной информацией» здесь понимается исчерпывающий набор данных, необходимый для реализации корпоративной системы интеграции в условиях конкретного предприятия. Форматы коммерческих систем, как правило, являются закрытыми. Для обмена 3D-моделями CAD-системы предлагают конвертацию данных через нейтральные форматы, наиболее развитым из которых является протокол STEP (STandard for Exchange of Product model data), применяемый в рамках технологии CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support). Несмотря на развитие STEP, в обменные форматы выводится только геометрическая информация и, в лучшем случае, общие метаданные, например, наименование детали, разработчик, обозначение материала. Структура дерева построения модели, параметры формообразующих операций, свойства материала, как правило, остаются в статусе «секретной» информации, хотя соответствующие спецификации STEP для передачи этих данных давно разработаны. Причина такого положения кроется в рыночной конкуренции, под давлением которой разработчики САПР вынуждены создавать искусственные препятствия для интеграции собственных продуктов с продуктами других производителей САПР. Извлечь дополнительную информацию об изделии можно только с использованием API (Application Programming Interface) CAD-системы и только в том объёме, который позволяет функциональность API. Извлекая данные через API, приходится работать с неоднородными источниками данных, связанными с 3D-моделью, например, свойства материала могут находиться в справочнике материалов, к которому требуется отдельный доступ

через *API* [3]. Существенный недостаток нейтральных форматов — это потеря точности геометрических данных, если приложения САПР работают на разных математических ядрах.

Второй уровень проблемы — это отсутствие единой интегрирующей модели данных. Глобальная модель данных в задачах интеграции всегда присутствует, но она не является универсальной. Использование нейтральных форматов в качестве интегрирующих моделей имеет ряд препятствий, обусловленных следующими причинами:

- игнорирование возможностей нейтральных форматов для передачи полной информации всеми разработчиками коммерческих САПР (обменные форматы используются на практике главным образом для передачи геометрии);
- нейтральные форматы имеют жёсткую структуру, фиксированные синтаксис и семантику, но всегда будут существовать объекты, процессы и наборы данных, не совпадающие полностью с актуальными спецификациями этих форматов;
- нейтральные форматы плохо предназначены для сжатия информации и передачи по сетям Интернет, а также визуализации в *HTML*-браузерах.

Перспективный путь решения данной проблемы — это разработка интеллектуальных конверторов данных, принимающих в качестве обменного протокола онтологические спецификации *Pro* на базе стандарта *XML (eXtensible Markup Language)*. Причём эти онтологии могут иметь различный уровень детализации *Pro* и различную таксономию понятий в зависимости от требований конкретной системы интеграции. Поскольку разнообразие корпоративных приложений весьма обширно, процесс разработки подобных конверторов должен быть автоматизирован с использованием новейших тенденций в области автоматизации программирования на основе онтологического подхода [4].

Ассоциативность данных является необходимым условием построения сквозных инженерных проектов, которая позволяет устранить многократное дублирование информации и обеспечить повторное использование проектных решений. Ассоциативность в САПР обычно реализуется с помощью специальных команд создания связанной геометрии, ссылок между переменными и свойствами объектов и часто используется в связке с параметризацией. Штатные возможности САПР по созданию ассоциативных объектов, как правило, ограничены или могут полностью отсутствовать в случае интеграции приложений, работающих на разных САПР-платформах. Автоматическое создание ассоциативных связей возможно на базе *API* интегрируемых приложений путём автоматического распознавания опорных (родительских) объектов.

Интерпретация любых форм информации зависит от контекста. Это утверждение справедливо не только для естественных языков как средства обмена информацией между людьми, но и любых способов передачи данных между техническими объектами. Знания, накопленные в области лингвистики, в полной мере применимы к искусственным языкам, в том числе к современным средствам межпрограммных взаимодействий.

Проблема семантики и контекста последовательно рассматривалась при анализе текстов в работах [5-9] и др. Современные исследователи выдвигают проблемы формализации контекста цифровой информации [10], потребности в интеграции и интероперабельности [11], обработки больших данных [12]. Простейшим способом формализации цифрового контекста является добавление к описанию предмета сопроводительной информации (метаданных). Более сложные подходы предлагают использование онтологий верхнего уровня, исчисления предикатов, теории математических категорий, дескрипционной логики и их расширений.

Любой контекст существует в другом, более общем контексте. В практических задачах необходимо в первую очередь обнаружить ближайшие контексты к рассматриваемому предмету. В статье рассмотрено влияние этапов ЖЦ изделия, соотнесенных с подсистемами *PLM*-

пространства предприятия, на интерпретацию инженерных данных при передаче информации от конструктора к технологу.

2 UML-представление наследования конструкторской информации

К разряду систем технологической подготовки производства относятся САПР ТП (*CAPP*-системы, *Computer-Aided Process Planning*) и системы автоматизированной разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) или *CAM*-системы (*Computer-Aided Manufacturing*). Эти системы в качестве исходных данных могут принимать как 2D-, так и 3D-информацию, полученную из систем конструкторского проектирования *CAD*. Но для целей построения сквозных конструкторско-технологических проектов целесообразнее использовать твёрдотельную модель, поскольку она несёт в себе не только полную информацию о геометрии объекта, но и допускает больше возможностей для включения в свой состав дополнительных метаданных.

Особенности наследования конструкторской информации можно представить на примере интеграции *CAM*-системы для платформы АСКОН с её базовым продуктом КОМПАС-3D. Автором статьи разрабатывается *CAM*-система с использованием среды программирования *Visual Studio C++*, *API* КОМПАС-3D и функций геометрического ядра *C3D* [13]. В настоящее время *CAM*-система включает в себя два модуля: *CAM*-приложение для токарной двухкоординатной обработки [14] и *CAM*-модуль для трёхосевого фрезерования [15]. *CAM*-система полностью интегрирована в пользовательский интерфейс КОМПАС-3D и использует в качестве источника конструкторской информации *CAD*-модель, созданную в КОМПАС-3D. Траектории обработки, которые генерирует *CAM*-система, ассоциативно связаны с опорными объектами обрабатываемой детали и автоматически перестраиваются при изменении положения и размеров элементов детали.

При моделировании технологического процесса рекомендуется работать не напрямую с конструкторской 3D-моделью, а с её ассоциативной копией, которая называется моделью технолога (рисунок 2). Это связано с тем, что технолог вынужден вносить изменения в 3D-модель обрабатываемой детали: необходимо поставить локальную систему координат, задающую направление осей станка; может потребоваться создать дополнительные построения на модели, например, сечение детали для удобства выбора внутренних поверхностей при программировании токарной обработки и др. Чтобы отделить изменения, сделанные технологом, и не загромождать конструкторскую модель технологическими данными, рекомендуется использовать копию исходной модели. Для построения сквозных конструкторско-технологических проектов 3D-модель технолога должна зависеть от модели конструктора, т.е. являться не просто копией файла конструкторской модели, а её ассоциативной копией. Ассоциативная связь в данном случае означает, что изменения, внесённые конструктором в собственную модель, автоматически передаются в модель технолога, т.е. модель конструктора выступает в качестве «родителя» для технологической модели. В общем случае модель технолога может зависеть от нескольких конструкторских моделей (например, при групповой обработке нескольких деталей на одной операции) и даже от параметров заготовки.

Удобным средством для описания подобных зависимостей является унифицированный язык моделирования *UML* (*Unified Modeling Language*), который позволяет построить наглядное графическое представление внутреннего состава класса и его отношений с другими классами.

Если рассматривать состав 3D-модели с точки зрения структуры данных, используемых для моделирования обработки в *CAM*-системе, то в списке атрибутов класса 3D-модели можно выделить пять элементов детали (рисунок 2):

- геометрию (*geometry*);
- параметрические переменные, объявляемые пользователем (*variables*);
- аннотации, т.е. обозначения размеров, допусков, шероховатостей (*annotation*);
- свойства материала (*material*);
- метаданные, т.е. сопроводительную текстовую и числовую информацию (*metadata*).

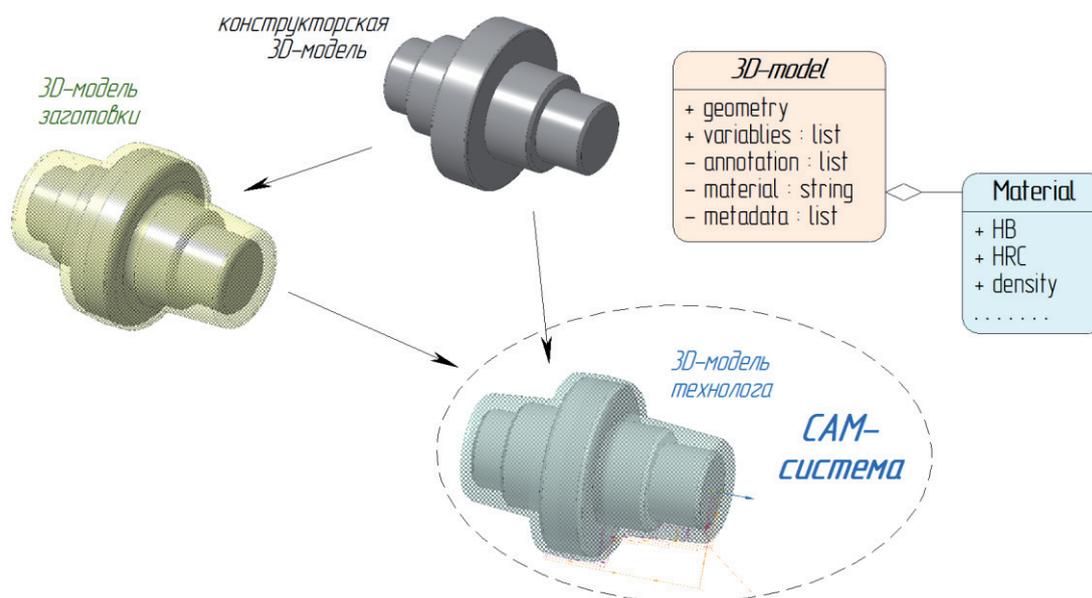


Рисунок 2 – Схема передачи информации от модели конструктора к модели технолога

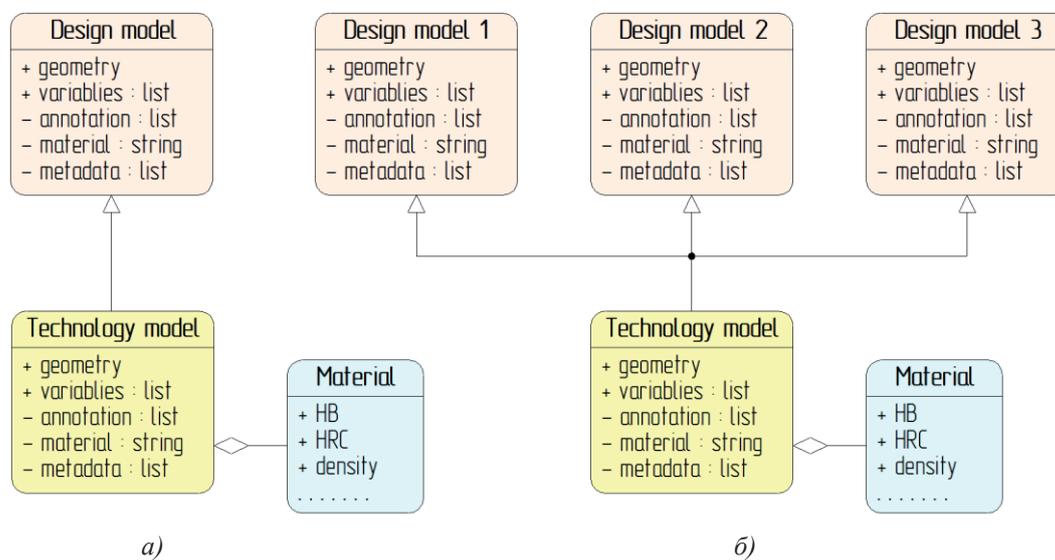
Геометрия модели представляет собой математическое описание поверхностей и структуру топологических связей между гранями, рёбрами и вершинами модели в граничном представлении *Brep* (*Boundary Representation*). Геометрия технологической 3D-модели может включать в себя два вида геометрии: ассоциативную геометрию, переданную из модели конструктора, и собственную геометрию, добавленную технологом (эта геометрия может отсутствовать, если технологу нет необходимости во вспомогательных построениях). Ассоциативная геометрия представляет собой полную копию *Brep*-представления конструкторской модели без истории её построения. Изменить её технолог не может, но может дополнить собственными построениями на технологической модели, например, сделать технологические отверстия с помощью операции вырезания или создать операцию прямого редактирования поверхностей. Ассоциативная геометрия и геометрия конструкторской модели находятся в отношении наследования, благодаря чему модель технолога обладает свойствами модели конструктора. Изменения, сделанные конструктором в геометрии изделия, автоматически передаются в ассоциативную геометрию технологической модели. Поскольку геометрия любой 3D-модели в системе КОМПАС-3D доступна в качестве ассоциативной геометрии для других моделей, то атрибут *geometry* следует считать открытым (публичным) членом класса *3D-model*.

Отличительной особенностью рассматриваемой *CAM*-системы является поддержка многоуровневой конструкторско-технологической параметризации [16], которая позволяет на стороне пользователей автоматизировать некоторые действия, например, расчёт режимов резания, создание собственных траекторий и упростить разработку постпроцессоров с помощью специальных макросов и параметрических формул. В рамках конструкторско-технологической параметризации можно использовать атрибуты *variables*, *annotation*, *material* и *metadata*. Извлечение негеометрической информации из технологической модели через *API* КОМПАС-3D подробно описано в статье [3]. Ни один из этих атрибутов не наследуется

из конструкторской модели через команду «Копировать объекты». Доступ открыт только к атрибуту *variables*, который рассматривается как открытый член класса *3D-model*, остальные считаются закрытыми (приватными) членами класса *3D-model*.

Атрибут *material* содержит строку с обозначением материала, а свойства материала хранятся в справочнике «Материалы и сортаменты» системы КОМПАС-3D. Поэтому свойства материала выносятся в отдельный класс, связанный с классом 3D-модели отношением агрегации. Аналогичным образом можно представить переменные, аннотации и метаданные отдельными классами, связанными с классом 3D-модели отношением композиции. Чтобы не загромождать диаграммы классов, эти атрибуты представлены упрощённо в виде списков в составе класса *3D-model*.

На рисунке 3 показаны два варианта наследования информации от конструктора к технологу. Как видно из этого рисунка штатными средствами КОМПАС-3D из конструкторской модели наследуются только два атрибута: *geometry* и *variables*. Аннотации, материал и метаданные технолог вынужден переопределять в собственной модели. Аннотации и метаданные могут не совпадать с исходной моделью (конструкторские обозначения могут быть излишни для технологической модели, а технолог может использовать свои аннотации), тогда материал, наименование и обозначение детали технологу приходится дублировать вручную. Открыть доступ ко всем элементам модели можно только через программный интерфейс приложения *API CAD*-системы, если реализовать в составе функций *CAM*-системы команду, аналогичную команде «Копировать объекты», но с расширенными возможностями передачи состава 3D-модели. При этом необходимо принимать во внимание возможные коллизии при наследовании информации от нескольких конструкторских моделей. Например, если исходные модели имеют разный материал, то в этом случае материал технологической модели должен назначить технолог.



а) – вариант с единственной исходной моделью; б) – вариант, когда технологическая 3D-модель наследует данные от двух и более конструкторских моделей (этот вариант соответствует групповому методу обработки)

Рисунок 3 – Варианты наследования данных от конструкторских моделей к модели технолога

В случае, когда в наследовании данных используется заготовка, то для повышения уровня автоматизации конструкторско-технологического проекта и его повторного использования 3D-модель заготовки может быть создана как параметризованная модель, ассоциативно связанная с геометрией и переменными конструкторской модели. На рисунке 4 показан пример параметризованной детали в форме диска (рисунок 4а) и её заготовка в виде штамповки

(рисунок 4б). В этом примере реализована схема наследования информации, приведённая на рисунке 2, когда и заготовка, и технологическая модель одновременно зависят от конструкторской модели. Заготовка содержит ссылочные переменные на размеры исходной детали и собственные переменные. Топология 3D-модели заготовки не является фиксированной, например, при достижении минимальной разницы между диаметрами ступеней детали выключается построение соответствующих ступеней заготовки. На рисунке 4б поверхности заготовки показаны прозрачными, сквозь которые видна ассоциативная геометрия, полученная от исходной детали. При изменении формы исходной модели перестраивается и модель технолога, и заготовка, а вслед за ними и ассоциативные траектории обработки, сгенерированные САМ-системой по технологической модели (рисунок 5). Модель заготовки САМ-система перестраивает автоматически через API КОМПАС-3D перед расчётом траекторий обработки.

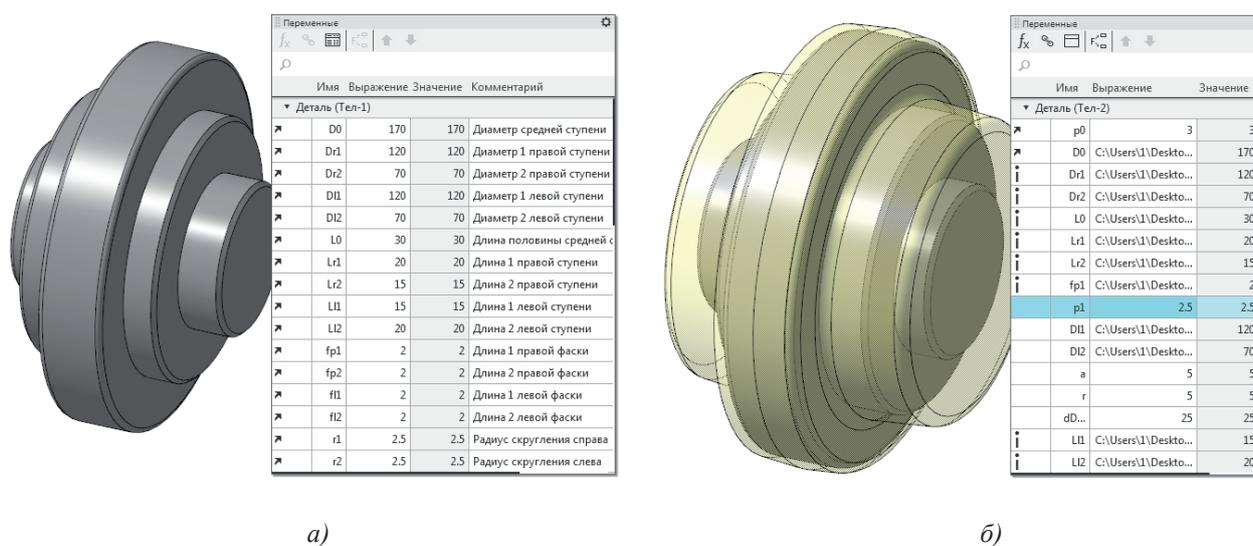


Рисунок 4 – Деталь в форме диска (а) и ассоциативно связанная с ней заготовка (б)

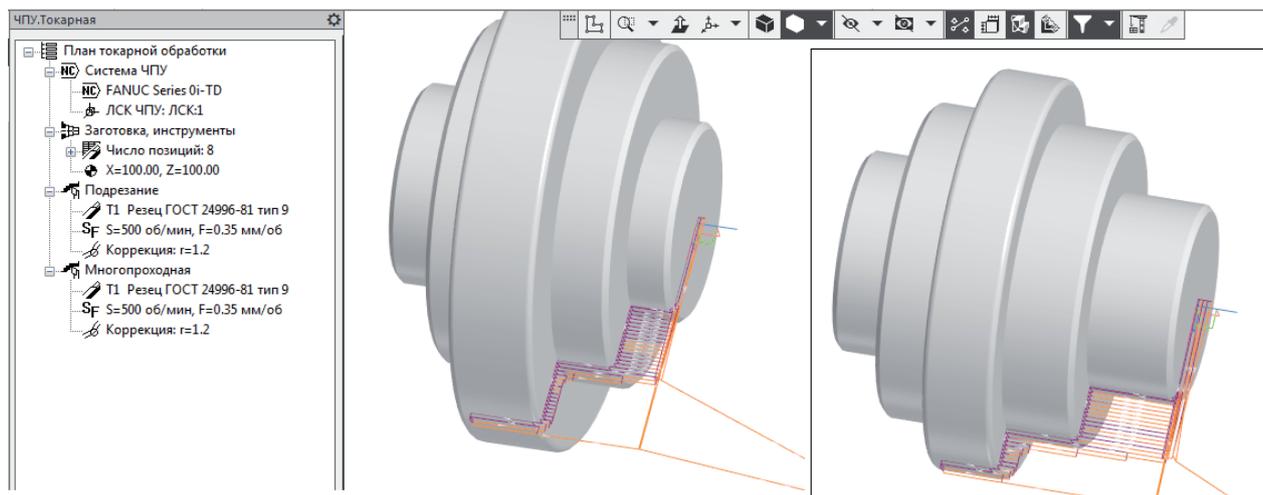
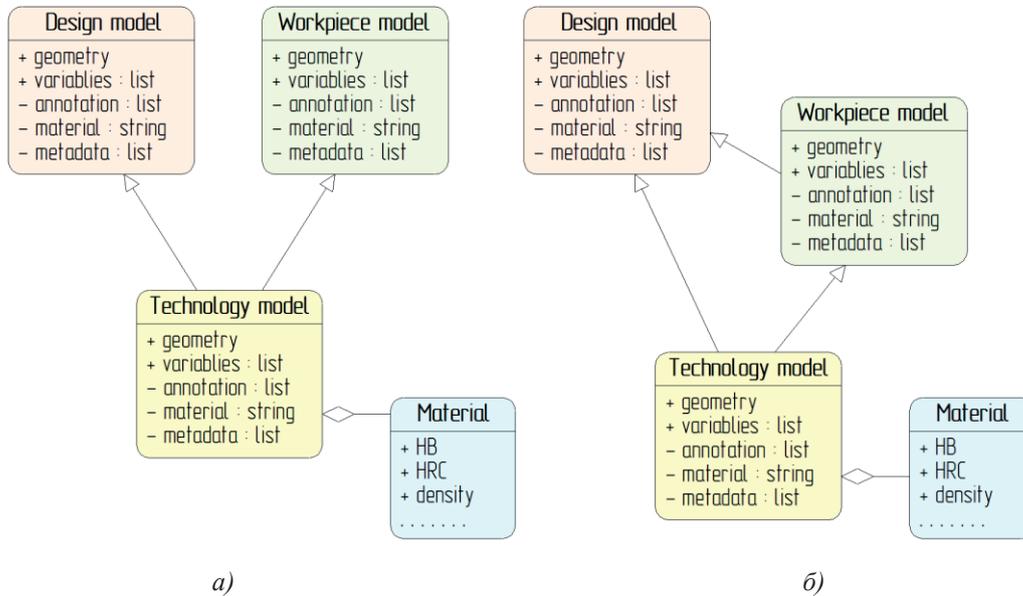


Рисунок 5 – Автоматическое перестроение ассоциативных траекторий обработки

Возможна ситуация, когда технологическая модель наследует данные одновременно и от конструкторской модели, и от заготовки. Обычно передавать геометрию от заготовки в технологическую модель нецелесообразно, потому что геометрия заготовки закрывает геометрию детали. Наследовать информацию из заготовки имеет смысл только в том случае, если для технологических расчётов требуется получить какие-либо переменные заготовки или пара-

метры аннотаций. На рисунке 6 показаны два варианта наследования данных с использованием модели заготовки. В каждом варианте вместо одной конструкторской модели может присутствовать несколько исходных моделей (такой случай является объединением рисунков 3б и 6).

На рисунке 7 приведён пример ромбовидного наследования, когда модель заготовки наследует данные конструкторской детали через промежуточные варианты заготовки.



а) – вариант, когда модель заготовки не зависит от конструкторской модели;
 б) – вариант, когда модель заготовки зависит от CAD-модели

Рисунок 6 – Варианты наследования данных с использованием модели заготовки

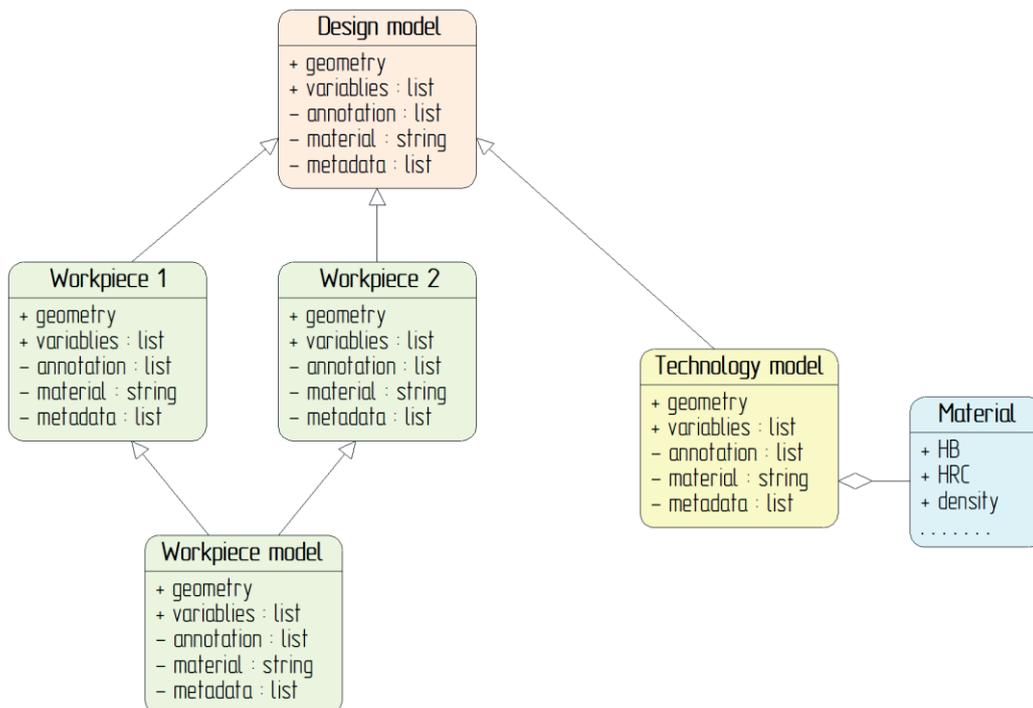


Рисунок 7 – Пример ромбовидного наследования данных от детали к заготовке

Модель штамповки, показанная на рисунке 4б, имеет плоскость разреза перпендикулярно оси детали. Путём изменения значений параметрических переменных деталь (рисунок 4а) может трансформироваться из диска в вал, у которого длина может в несколько раз превышать наибольший диаметр. Но для вала требуется другой вид штамповки, у которой плоскость разреза должна проходить через ось детали.

Таким образом, для данной детали требуется два варианта штамповки (модели заготовки). Алгоритмы их трёхмерного моделирования различны и должны быть реализованы в двух разных параметризованных 3D-моделях. Для создания сквозного конструкторско-технологического проекта необходимо иметь одну модель заготовки, подключенную к САМ-системе. Эта общая 3D-модель заготовки должна наследовать ассоциативную геометрию от обоих вариантов штамповки и содержать в своём дереве построения две операции копирования объектов, из которых только одна должна быть включена в расчёт в зависимости от соотношения габаритов детали. Такая схема представляет собой классический пример ромбовидного наследования (рисунок 7). Габаритные размеры детали могут быть унаследованы как от первого варианта, так и от второго варианта заготовки с помощью ссылочных переменных. В этих переменных указывается путь к файлу родительской 3D-модели, поэтому ссылки обеспечивают однозначный доступ к одноименным атрибутам класса 3D-модели.

UML-представление позволяет наглядно описать различные варианты наследования информации в задачах интеграции САМ-систем с системами конструкторского проектирования. Эти схемы наследования необходимо учитывать при реализации сквозных конструкторско-технологических проектов с высоким уровнем ассоциативности данных.

3 PLM-контекст цифрового пространства предприятия

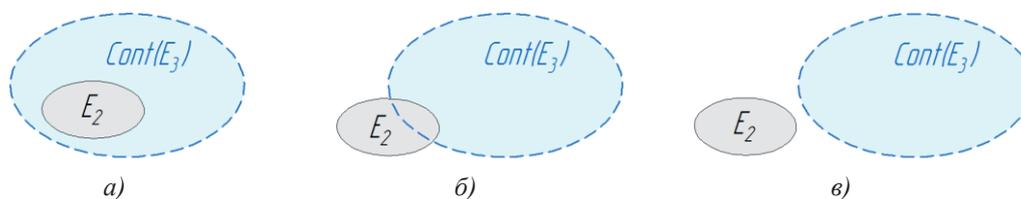
В рамках концепции Индустрия 5.0 ЖЦ изделия представляет собой пространство интеграции Интернета знаний и Интернета вещей. При этом этапы конструирования, технологической подготовки и планирования производства существуют в виртуальном мире, что делает возможным применение к ним Интернета знаний, а процессы изготовления продукта используют средства производства, рассматриваемые как вещи, что ведёт к возможности совместного применения Интернета знаний и Интернета вещей [17].

С точки зрения системного подхода любые этапы и стадии ЖЦ изделия следует рассматривать как элементы (*E*) его структуры. Элементы, взаимодействуя друг с другом путём обмена данными, находятся под влиянием всего информационного пространства предприятия и его неявных семантических полей. Например, конструктор, учитывая явные функциональные требования заказчика, изложенные в техническом задании, находится под влиянием собственного опыта, интуиции и культуры производства, принятой на данном предприятии. Технолог вынужден учитывать доступность оборудования, загруженного изготовлением других изделий, не связанных с его технологическим процессом. Инженер, занимающийся планированием производства, должен принимать во внимание загруженность складов с учётом сложных логистических связей предприятия с поставщиками и потребителями. Воздействие таких факторов, которые явно не специфицированы в рамках конкретного элемента ЖЦ изделия и находятся на метауровне относительно рассматриваемого процесса или явления, следует считать контекстным влиянием. Структура этого влияния сложная, трудно формализуема и обусловлена структурой конкретного предприятия. Эта структура имеет вложенность контекстов, например конструкторский контекст вложен в технологический, технологический — в организационный, некоторые контексты пересекаются между собой или дополняют друг друга.

Предлагается следующее определение *PLM*-контекста.

Определение: Пусть E_1 и E_2 — произвольные элементы ЖЦ изделия, участвующие в интеграции данных. Если при передаче информации от элемента E_1 к элементу E_2 данные меняют свои значения под влиянием третьего элемента E_3 , то онтология ПрО элемента E_3 , называется *PLM-контекстом* $Cont(E_3)$ для элемента E_2 .

ПрО *PLM-контекста* и элемента E_2 могут находиться в трёх отношениях множеств (см. рисунок 8).



а) – контекст содержит ПрО элемента $E_2 \in Cont(E_3)$; б) – ПрО пересекаются $E_2 \cap Cont(E_3)$;
в) – ПрО не пересекаются $E_2 \notin Cont(E_3)$

Рисунок 8 – Отношения ПрО элемента ЖЦ изделия и влияющего на него *PLM-контекста*

На рисунке 9 представлена схема передачи информации внутри фрагмента *PLM-пространства*, состоящего из четырёх элементов: конструкторское проектирование изделия (*CAD*), технологическая подготовка (*CAPP*), планирование и организация производства (*MES, Manufacturing Execution System*), технико-экономическое обоснование (*ERP, Enterprise Resource Planning*). Разработка операций для станков с ЧПУ в *CAM*-системах является стадией этапа технологической подготовки производства, т.е. $ПрО(CAM) \in ПрО(CAPP)$.

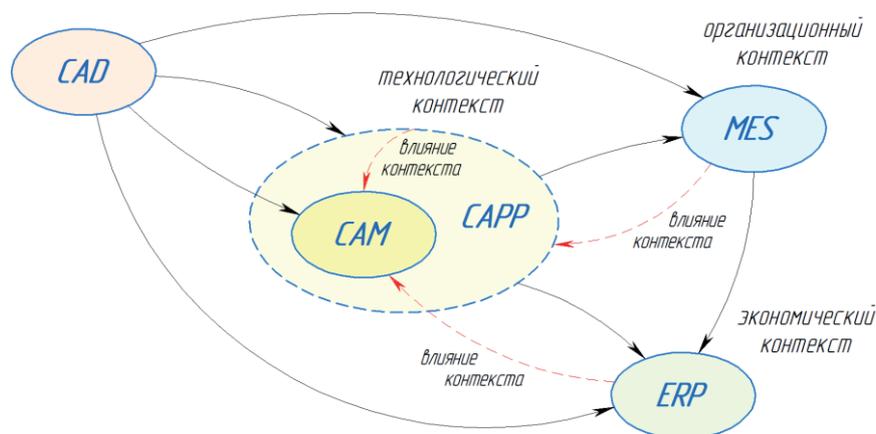


Рисунок 9 – Схема передачи информации внутри фрагмента *PLM-пространства*

Результаты конструкторского проектирования (*CAD*) используются практически всеми элементами ЖЦ изделия. Потенциально любой элемент ЖЦ может выступать в качестве контекста для любых других элементов *PLM-пространства* (на рисунке 9 потоки данных от контекстов обозначены штриховыми дугами). Поскольку в рамках данного исследования в первую очередь представляет интерес интеграция *CAM*-систем с системами *CAD*, то ниже приведены примеры контекстно-зависимой передачи данных для задач из области *CAM*.

Пример 1: учёт свойств обрабатываемых материалов.

В состав исходных данных для расчёта режимов резания входят свойства обрабатываемого материала. Например, такой параметр как твёрдость материала включён во многие методики расчёта технологических режимов. Если твёрдость материала брать из конструкторской 3D-модели, то это значение может быть неадекватным реальным свойствам материала

во время обработки. Конструктор назначает твёрдость исходя из функциональных требований, предъявляемых к изделию. Операции механической обработки часто производятся для материала в состоянии поставки. При передаче информации из конструкторской модели могут быть пропущены некоторые промежуточные операции технологического процесса. Узнать истинные свойства материала, можно, если обратиться к параметрам технологического процесса, в состав которого входит данная операция. В этом случае Про *CAPP*-системы выступает в качестве контекста по отношению к *CAM*-системе. Таким образом, свойства материала, извлечённые из *CAD*-модели, должны изменить свои значения под воздействием технологического контекста *CAPP*-системы. В свою очередь *CAPP*-система может находиться под влиянием организационного контекста *MES*-системы, например, если технолог вынужден учитывать загрузку оборудования. Это влияние *MES*-системы через технологический контекст передаётся и на *CAM*-систему.

Пример 2: автоматизированный подбор режущих инструментов.

Как правило, *CAM*-системы, содержат собственные базы инструментов. Эти базы могут не учитывать текущее наличие инструментов в цехе или возможность их поставки к моменту запуска изделия в производство. Для подбора инструментов необходима сверка инструментальной базы *CAM*-системы с базами *ERP*- или *MES*-систем. Такая сверка может быть произведена с использованием *MDM*-систем (*Material Data Manager*), предназначенных для совместного доступа и управления единой нормативно-справочной информацией [18].

4 Стратегия автоматизации процесса влияния *PLM*-контекстов на передаваемые данные

Предлагаемая стратегия автоматизации процесса влияния *PLM*-контекстов на значения передаваемых данных включает следующие этапы.

Во-первых, необходимо разработать подробные онтологии Про, связанных с этапами ЖЦ изделия. Эти онтологии должны выступать в качестве эталонных моделей интеграции, обладать свойствами расширяемости и адаптируемости в условиях конкретной системы интеграции. Необходимо выявить отношения множеств понятий этих онтологий: являются ли они иерархически вложенными, пересекаются или не имеют общих фрагментов. Предварительный вариант онтологии Про технологического процесса изготовления машиностроительной детали приведён на рисунке 10. Эта онтология отражает различные аспекты технологической подготовки производства. Детализация знаний о свойствах тех или иных понятий должна быть реализована отдельными онтологиями.

Во-вторых, необходимо проработать концепцию хранения информации об этапах ЖЦ изделия непосредственно в 3D-модели изделия. Существенным отличием предлагаемой концепции от известной методологии *CALS* является отказ от протокола *STEP* и замена его онтологическими спецификациями на базе *XML*-стандарта. Для хранения данных об этапах ЖЦ изделия можно использовать архивы 3D-моделей. Если открыть файлы деталей в форматах *SolidWorks* и КОМПАС-3D ZIP-архиватором, то можно увидеть содержимое этих архивов (рисунок 11).

Можно предположить, что геометрическая информация хранится внутри элемента данных *Contents* (это и есть атрибут *geometry* класса *3D-model* на рисунке 2). Анализ содержимого архивов показывает, что все файлы внутри 3D-модели *SolidWorks* являются бинарными, а внутри модели КОМПАС-3D элемент данных *MetaProductInfo* представляет собой текстовый *XML*-файл, содержащий общую информацию о составе изделия.

Существенным преимуществом такого подхода является то, что получение информации об этапе ЖЦ изделия может происходить из модели детали без необходимости обращения к

PDM- или MDM-системам. Хранение знаний об этапах ЖЦ изделия внутри 3D-модели является необходимым условием реализации многоагентных систем проектирования и управления производством [19]. Выступая в качестве интеллектуального агента среды проектирования и обладая при этом свойствами реактивности и целенаправленности, деталь должна все свои знания содержать внутри себя. Предварительный вариант онтологического содержания интеллектуального агента (детали) представлен на рисунке 12.

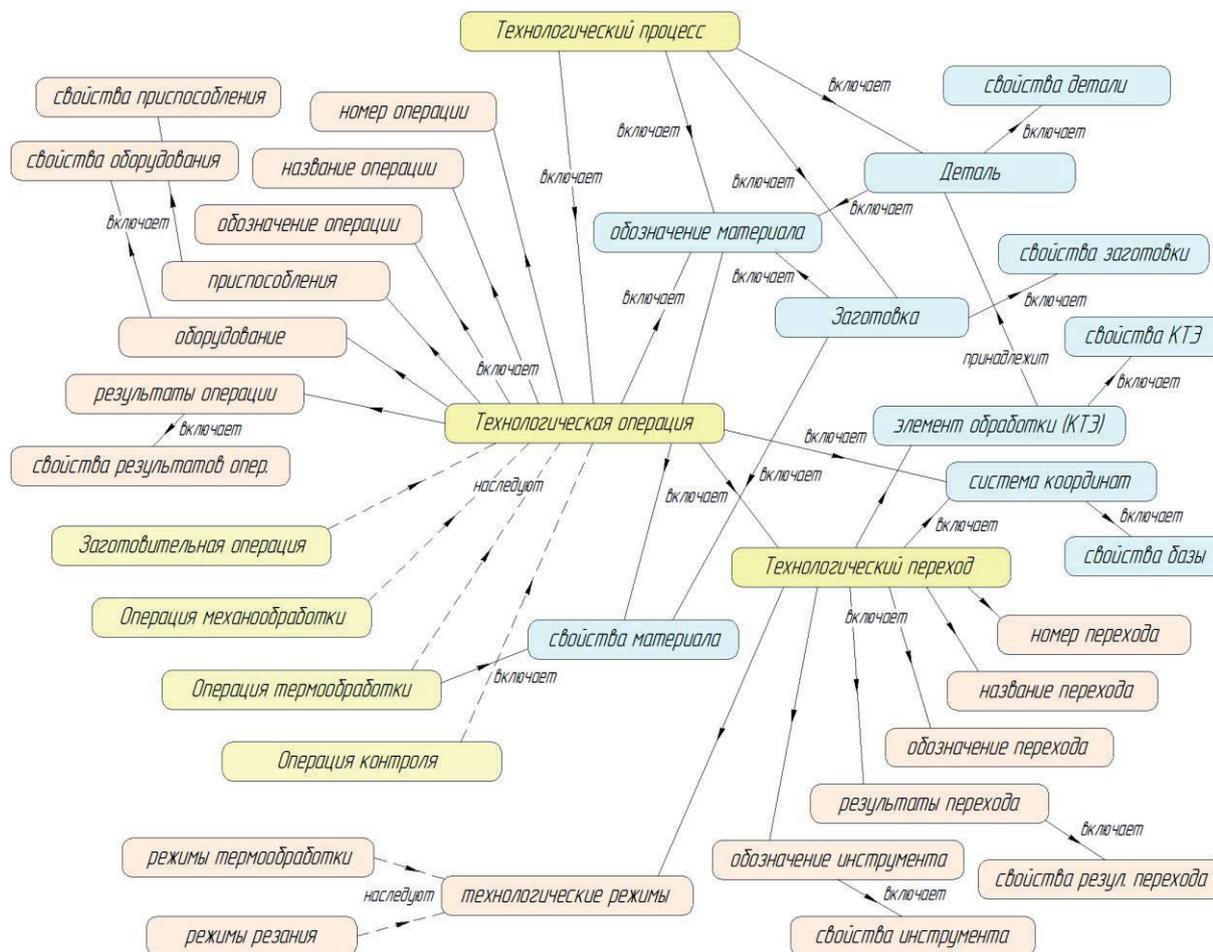


Рисунок 10 – Онтология Про технологического процесса

Имя	Размер	Сжатый	Файлов
Contents	44 498	45 504	11
SwDocMgrTempStorage	0	0	0
swXmlContents	768	832	2
ThirdPty	198	256	4
ThirdPtyStore	457	512	2
_DL_VERSION_4100	6	64	1
_MO_VERSION_4100	1 656	1 728	2
Config-0-Properties	164	192	
Header2	1 924	1 984	

а)

Имя	Размер	Сжатый	Версия
Contents	420 081	420 081	0
FileInfo	602	602	0
MetaInfo	214	120	0
MetaProductInfo	26 690	2 917	0
Preview	63 450	63 450	0
SysInfo	3 508	3 508	0

б)

Рисунок 11 – Содержимое 3D-модели в форматах SolidWorks (а) и КОМПАС-3D (б)

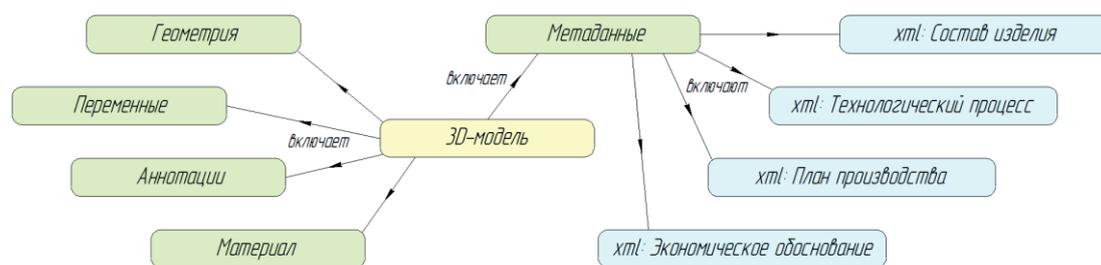


Рисунок 12 – Онтология знаний интеллектуального агента (детали)

В-третьих, необходима программная реализация интеллектуальных конверторов данных, принимающих в качестве интегрирующих моделей данных онтологии элементов ЖЦ изделия на базе стандарта *XML*. Разработка архитектуры таких конверторов должна быть основана на современных методах автоматизации программирования с применением *UML*-представлений объектов и онтологического подхода к разработке программного обеспечения.

Заключение

Особенности наследования инженерных данных необходимо учитывать при разработке САПР-приложений и создании на их основе систем интеграции корпоративного уровня. Приведено наглядное описание различных схем наследования информации с использованием *UML*-представлений на примере интеграции систем технической подготовки производства.

Обмен информацией между подсистемами предприятия происходит под влиянием информационных контекстов, обусловленных цифровым пространством предприятия. Ближайшими из этих контекстов к задачам интеграции являются Про ЖЦ изделия, обозначенные в статье как *PLM*-контексты. Для автоматизации процесса влияния *PLM*-контекстов на значения передаваемых данных необходима разработка онтологий Про, связанных с этапами ЖЦ изделия, и реализация на их основе интеллектуальных конверторов экспорта/импорта данных для приложений САПР.

Список источников

- [1] Грехэм, И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика / И.Грехэм. – М.: Изд-во «Вилльямс», 2004. – 880 с.
- [2] Коголовский, М.Р. Методы интеграции данных в информационных системах / М.Р. Коголовский // Институт проблем рынка РАН, М.: 2010. – 9 с. - <http://www.ipr-ras.ru/articles/kogalov10-05.pdf>.
- [3] Щёкин, А.В. Автоматизация получения параметров детали для задач конструкторско-технологической параметризации / А.В. Щёкин // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т.29, №3. – С.345–365. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201903.345-365.
- [4] Хорошевский, В.Ф. Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации / В.Ф. Хорошевский // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №4(34). – С.429 –448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [5] Шлейермахер, Ф. О разных методах перевода // Вестник МГУ. Сер. 9: Филология. 2000. № 2. С. 127—145.
- [6] Гадамер, Х.-Г. Истина и метод: Основы философской герменевтики / Пер. с нем.; общ. ред. и вступ. ст. Б.Н. Бессонова. – М.: Прогресс, 1988. – 704 с.
- [7] Фреге, Г. Смысл и денотат // Семиотика и информатика. Вып. 8. М., 1977. С.181–210.
- [8] Carnap R., Bar-Hillel Y. An outline of theory of semantic information // Techn. Report of Res. Lab. Electr. – 1952. No. 247, 49 p.
- [9] Витгенштейн, Л. Философские исследования / Л. Витгенштейн // Философские работы. Ч. 1; пер. с нем. – М.: Гнозис, 1994. – С.75–320.

- [10] Коммюнике онтологического саммита 2018 — Контекст в контексте / K. Baclawski, M. Bennett, G. Berg-Cross, C. Casanave, D. Fritzsche, J. Luciano, T. Schneider, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, A. Westerinen, D. Whitten. Пер. с англ. М.Д. Коровина, с сокр. // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т.8, №2(28). – С.305-316. DOI: 10.3233/AO-180200.
- [11] Fritzsche, D., Gruninger, M., Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Obrst, L., ... Westerinen, A. *Ontology Summit 2016 Communique: Framing the Conversation: Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems*. *Applied Ontology*, 2017; 12(2): 91–111. DOI: 10.3233/AO-170181.
- [12] Gruninger, M., Obrst, L., Baclawski, K., Bennett, M., Brickley, D., Berg-Cross, G., . . . Yim, P. *Ontology Summit 2014 Communique: The Semantic Web and Big Data meet Applied Ontology*. *Applied Ontology*, 2014; 9(2): 155–170. DOI: 10.3233/AO-140135.
- [13] **Камнев, А.** Интерфейс прикладного программирования геометрического ядра С3D, его применение и главное отличие от API системы КОМПАС-3D / А. Камнев // САПР и графика. 2016. №5. С.36–38. - <https://sapr.ru/article/25210>.
- [14] Модуль ЧПУ. Токарная обработка. - <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu>.
- [15] Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка. - <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu-fo>.
- [16] **Щёкин, А.В.** Конструкторско-технологическая параметризация в составе интегрированной САМ-системы / А.В. Щёкин // Информационные технологии. 2019. №7. с. 34–54.
- [17] **Евгеньев, Г.Б.** Индустрия 5.0 как интеграция Интернета знаний и Интернета вещей / Г.Б. Евгеньев // *Онтология проектирования*. – 2019. – Т.9, №1(31). – С.7-23. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.
- [18] **Андриченко, А.Н.** Тенденции и состояние в области управления справочными данными в машиностроении / А.Н. Андриченко // *Онтология проектирования*. 2012, 2(4). – С. 25-35.
- [19] **Евгеньев, Г.Б.** Многоагентные системы полуавтоматического проектирования в машиностроении на базе механизма объект-функции / Г.Б. Евгеньев // *Онтология проектирования*. – 2020. – Т.10, №1(35). – С.50-62. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-50-62.

Сведения об авторе



Щёкин Александр Васильевич, 1976 г. рождения. Окончил Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва в 1998 г. Заведующий научно-исследовательской лабораторией «Автоматизация программирования станков с ЧПУ» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». Область научных интересов: САПР, автоматизация программирования станков с ЧПУ, САМ (Computer-Aided Manufacturing), онтологический инжиниринг. ResearcherID: F-4689-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5209-166X>, schekin@inbox.ru.

Поступила в редакцию 05.05.2020, после рецензирования 24.05.2020. Принята к публикации 08.06.2020.

The specifics of information inheritance in CAD/CAM-integration

A.V. Shchekin

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract

The article describes the specifics of information inheritance when transferring data from CAD system to CAM system: the object-oriented nature of the transmitted data and the influence of PLM contexts on data semantics. The object-oriented approach implies in the information transfer processes the presence of “parents” and “descendants” and associative relations between them, which makes it possible to reuse engineering projects. UML representation clearly describes the various schemes of information inheritance in the CAD/CAM-integration. These schemes must be taken into account when implementing end-to-end engineering projects. The PLM context is considered as the semantic field of the product life cycle stage, which affects the interpretation of engineering data. Digital space of an enterprise consists of informational contexts which affect the values of the transmitted data. Ignoring this circumstance leads to the loss or distortion of the actual values of the inherited parameters. The article provides a definition of the PLM context as an ontology of the product life cycle stage, which acts as the external environment in relation to integrated applications. A preliminary version of the ontology of the technological domain has been developed. It is proposed to store information about the stages of the product life cycle directly inside the 3D model of the product in the ontological representation of knowledge based on the XML standard. The specifics of information inheritance are considered on the example of integration of the CAM-system developed by the author of the article with its basic CAD-platform KOMPAS-3D. A strategy for automating the influence of PLM contexts on the values of the transmitted data is proposed.

Key words: integration, technical preparation of production, CAD, CAM, CAPP, ontology, 3D-model, KOMPAS-3D, XML, API.

Citation: Shchekin AV. The specifics of information inheritance in CAD/CAM-integration [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(2): 201-217. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-201-217.

List of figures

- Figure 1 – Problem levels of enterprise data integration
- Figure 2 – The scheme of information transfer from the designer model to the technological model
- Figure 3 – Diagram of data inheritance from design models to the technological model
- Figure 4 – A disk-shaped part (a) and a workpiece associated with it (b)
- Figure 5 – Automatic regeneration of associative processing paths
- Figure 6 – Data inheritance diagram using workpiece model
- Figure 7 – An example of rhomboid data inheritance from a part to a workpiece
- Figure 8 – Relationships of the element of PLM and the PLM-context affecting it
- Figure 9 – Scheme of information transfer inside a fragment of PLM space
- Figure 10 – Ontology of the domain of technological process
- Figure 11 – Content of the 3D model in SolidWorks (a) and KOMPAS-3D formats (b)
- Figure 12 – Intelligent Agent Ontology of knowledge (details)

References

- [1] **Graham I.** Object-oriented methods. Principles and Practice. 3rd Edition. Addison-Wesley, 2001. 853 p.
- [2] **Kogalovskij MR.** Data integration methods in information systems [In Russian]. *Metody integracii dannyh v informacionnyh sistemah*. Institut problem rynka RAN, 2010. 9 p. <http://www.ipr-ras.ru/articles/kogalov10-05.pdf>.
- [3] **Shchekin AV.** Automation of Obtaining the Detail Parameters for Tasks of Design-Technological Parametrization [In Russian]. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2019; 29(3): 345-365. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201903.345-365.
- [4] **Khoroshevsky VF.** Ontology Driven Software Engineering: Models, Methods, Implementations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 429-448. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [5] **Shleiermakher F.** Different methods of translation. *Vestnik MGU, Ser. 9: Filologiya* [Bulletin of the MSU, Ser. 9: Philology], 2000. 2, p.127—145.

- [6] **Hans-Georg Gadamer**. Truth and Method: Fundamentals of Philosophical Hermeneutics // Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck) 1960. 486 p.
- [7] **Gottlob Frege**. Sense and denotation. Semiotics and computer science. // Über Sinn und Bedeutung. In: Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik. Band 100, 1892, P.25 – 50.
- [8] **Carnap R., Bar-Hillel Y.** An outline of theory of semantic information // Techn. Report of Res. Lab. Electr. – 1952. No. 247, 49 p.
- [9] **Wittgenstein L.** Philosophical Studies // Philosophische Untersuchungen / Philosophical Investigations. Translated by G.E.M. Anscombe. Oxford: Basil Blackwell, 1953, 232 p.
- [10] **Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Fritzsche, D., Schneider, T., Sharma, R., ... Westerinen, A.** (2018). Ontology Summit 2017 Communique: AI, Learning, Reasoning and Ontologies. *Applied Ontology*, 13(1), 3–18. DOI: 10.3233/AO-180200.
- [11] **Fritzsche, D., Gruninger, M., Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Obrst, L., ... Westerinen, A.** (2017). Ontology Summit 2016 Communique: Framing the Conversation: Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. *Applied Ontology*, 12(2), 91–111. DOI: 10.3233/AO-170181.
- [12] **Gruninger, M., Obrst, L., Baclawski, K., Bennett, M., Brickley, D., Berg-Cross, G., ... Yim, P.** (2014). Ontology Summit 2014 Communique: The Semantic Web and Big Data meet Applied Ontology. *Applied Ontology*, 9(2), 155-170. DOI: 10.3233/AO-140135.
- [13] **Kamnev A.** The Application Programming Interface of the Geometric Kernel C3D, its application and the main difference from the API of the Kompas-3D System [In Russian]. CAD and Graphics [SAPR i grafika]. 2016. 5:36-38. <https://sapr.ru/article/25210>.
- [14] Module Computer numerical control. Turning. [Modul' ChPU. Tokarnaja obrabotka] [In Russian]: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu>.
- [15] Module Computer numerical control. Milling. [Modul' ChPU. Frezernaja obrabotka] [In Russian]: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu-fo>.
- [16] **Shchekin AV.** Design and technological parametrization as a part of an integrated CAM System [In Russian]. Information Technologies [Informatsionnyie tehnologii]. 2019; 25(7): 34-54.
- [17] **Evgenev GB.** Industry 5.0 as integration of the Internet of Knowledge and the Internet of Things [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(1): 7-23. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.
- [18] **Andrichenko AN.** Tendencies and the status in the field of reference data management in the engineering industry [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 2(4): 25-35.
- [19] **Evgenev GB.** Multi-agent systems of semi-automatic design based on object-functions model in engineering [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 50-62. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-50-62.

About the author

Alexander V. Shchekin (b. 1976) graduated from the Mordovia State University (Saransk-city) in 1998. Chief of the Automation of CNC Programming Research Laboratory, National Research Mordovia State University. Research interests: CAD, CNC-programming automation, CAM (Computer-Aided Manufacturing), ontological engineering. ResearcherID: F-4689-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5209-166X>, schekin@inbox.ru.

Received May 05, 2020. Revised May 25, 2020. Accepted June 08, 2020.

Онтология объединения информационных подсистем: принципы и примеры

А.Н. Набатов, И.Э. Веденяпин

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Аннотация

Статья посвящена вопросам объединения онтологий, которые используются при проектировании отдельных систем, входящих в корпоративную информационную систему. Данная задача возникает при построении единой онтологии для проектирования информационных систем в процессе интеграции различных информационных решений, а также при последовательном проектировании корпоративной информационной системы разными разработчиками в разное время. Предполагается, что онтологии построены по единым принципам и на основе единого тезауруса. Задача построения единой онтологии может представлять значительные трудности, связанные с необходимостью объединять онтологии, описывающие разные подсистемы предприятия. Рассмотрены вопросы формального определения возможности объединения онтологий без их предварительной доработки. Предложен критерий возможности объединения, разработана методика его расчёта на основе экспертных оценок. Рассмотрены примеры объединения онтологий с расчётом предложенного критерия. Новизна результатов заключается в разработке принципа и критерия объединения онтологий, разработке методики применения предложенного критерия.

Ключевые слова: онтологии, объединение онтологий, проектирование, информационные системы, проектирование информационных систем, корпоративные информационные системы.

Цитирование: Набатов, А.Н. Онтология объединения информационных подсистем: принципы и примеры / А.Н. Набатов, И.Э. Веденяпин // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №2(36). – С.218-231. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-218-231.

Введение

Современный мир существует в информационном пространстве, где взаимодействует огромное количество информационных систем (ИС), решающих самые разнообразные задачи. Правительства принимают программы цифровизации¹, население живёт в «сетях» – это ведёт к необходимости объединения ИС. Практически все современные ИС имеют тот или иной механизм интеграции с окружающей экосистемой.

При решении задачи автоматизации в некоторой предметной области (ПрО), формулируется общая цель автоматизации, а также задаются некоторые характеристики ИС. При этом выбирается решение из множества существующих либо создаётся новое решение, фактически реализуя верхнюю ветвь пути моделирования и реализации, представленного на рисунке 1. В процессе те-

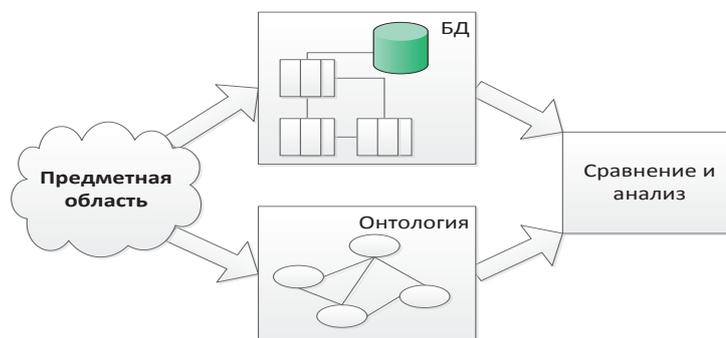


Рисунок 1 – Возможные пути моделирования и представления предметной области

¹ См. например, программа «Цифровая экономика Российской Федерации» - <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/>.

стирования, опытной и промышленной эксплуатации ИС уточняются её характеристики-параметры-элементы, которые можно изменить или настроить. Этот процесс протекает итерационно до достижения результата, устраивающего участников процесса.

Приведённый путь считается каноническим, но обладает ключевым недостатком – невысокой скоростью достижения конечного результата. Современные исследования направлены на преодоление данного недостатка. Одним из таких путей является применение онтологического подхода к процессу проектирования ИС (нижняя ветвь пути на рисунке 1) [1–3].

1 Принципы объединения ИС

По мере исследования ПрО и формирования представления о ней у проектировщиков ИС формируется множество моделей, отвечающих на разнообразные вопросы, такие как:

- какие понятия, сущности используются в данной ПрО;
- какие документы сопровождают процессы в данной ПрО;
- какие информационные потоки характеризуют перемещение информации в данной ПрО;
- какие процессы и функции в данной ПрО протекают;
- как можно их улучшить, повысить качество;
- какие математические зависимости можно использовать для описания данной ПрО;
- и т.д.

Проектировщики ИС стремятся согласовать тезаурусы ПрО как между собой, так и в разных моделях для получения общепризнанного представления.

Преимущества онтологий:

- гибкость онтологий [4];
- возможность автоматизированной обработки семантики информации с целью её эффективного использования (представления, преобразования, поиска) [5];
- возможность анализа, накопления и повторного использования знаний в ПрО [6];
- отсутствие практической альтернативы в некоторых ПрО [7];
- онтологии облегчают не только поиск, но и обучение, актуализацию, интеграцию знаний и многие другие задачи [8];
- систематичность – онтология представляет целостный взгляд на ПрО;
- единообразность – материал, представленный в единой форме, лучше воспринимается и воспроизводится;
- научность – построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи во всей их полноте [9].

Недостатки онтологий:

- слабая формальность подхода [10];
- трудности инжиниринга и реинжиниринга онтологий;
- субъективность экспертов [11];
- семантика может казаться противоречивой [11].

Общая схема представления ПрО в различные ИС (процесс проектирования) показана на рисунке 2. Часть переходов на рисунке 2 является на текущий момент достаточно проработанной технологией, а часть искусством [12].

С точки зрения онтологического подхода интеграция различных ИС в единую корпоративную ИС (КИС) – это объединение онтологий отдельных ИС. Данный подход позволяет объединять различные онтологии через понятие корня онтологии (Thing), от которого они строятся. Качество объединения ИС зависит от «близости» объединяемых онтологий. Под «близостью» понимается наличие или отсутствие связей, прежде всего информационных, между классами объединяемых онтологий [13].

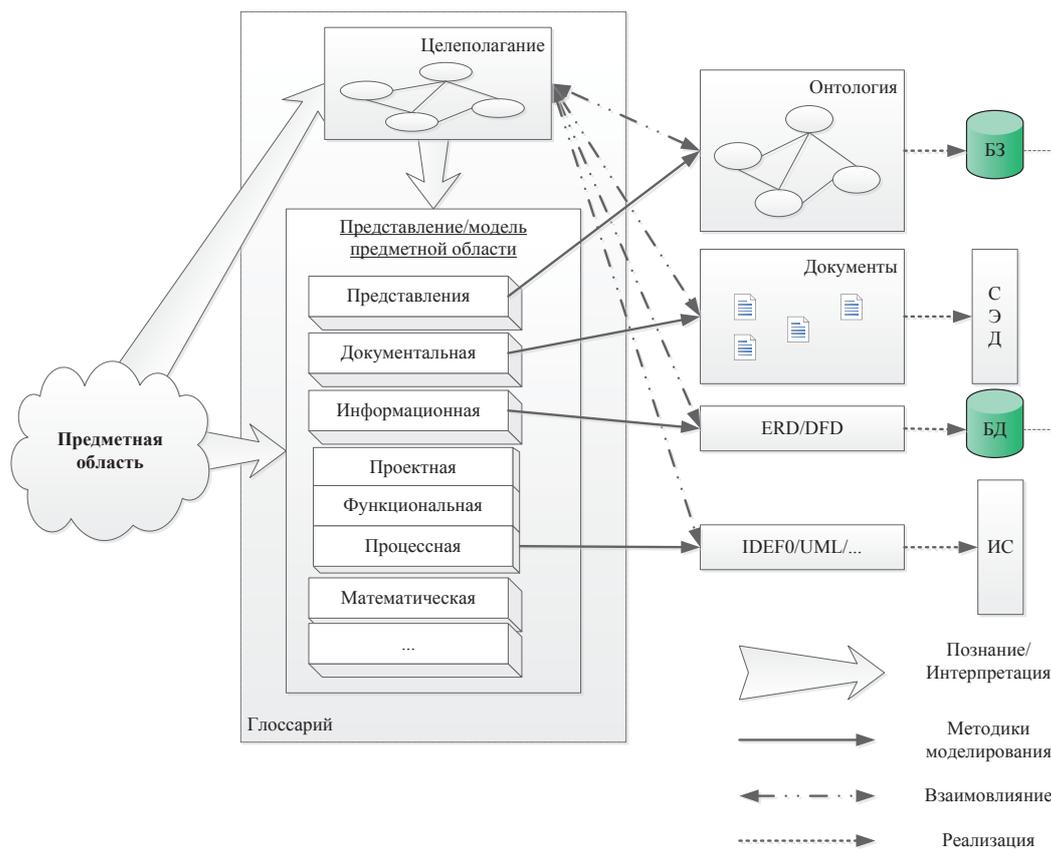


Рисунок 2 – Общая схема представления ПрО в различные ИС

Необходимым условием успешности объединения является единый тезаурус, в данном случае – триада «субъект – объект – процесс». В качестве критерия успешности объединения может выступать появление в объединенной онтологии связей между классами, относящихся к изначально разным онтологиям [14].

Одной из проблем объединения систем является то, что одна из них считается надсистемой, влияющей на работу других подсистем КИС. При объединении встречаются системы, охватывающие своими информационными потоками всё пространство КИС, например, документооборот (ДО). С точки зрения ДО документы других систем, например, системы менеджмента качества (СМК), являются обычными документами организационно-распорядительного характера (стандарты предприятия, нормативы качества и т.д.). Важным фактором, влияющим на работу СМК, является то, что рассматривая вопрос качества ИС, отдельно рассматривают качество проектирования, отдельно - качество разработки и реализации, отдельно - качество эксплуатации, при этом качество автоматизируемого объекта в целом остаётся вне этих оценок. При этом считается, что до автоматизации должен быть проведён реинжиниринг бизнес-процессов [13, 15].

Вопросы объединения онтологий возникли у специалистов практически одновременно с появлением первых онтологий [16, 17]. Как инструмент исследования онтологий, объединение и разделение онтологий всегда были в арсенале учёных, а с переходом к практическому использованию онтологий при проектировании ИС появились вопросы у практиков по поводу применения этих инструментов [14, 18].

Пример задачи объединения двух абстрактных онтологий представлен на рисунках. Классы первой, общей – Онтологии 1 (рисунок 3) - называются Кл1 (Кл11...Кл1N), классы второй - Онтологии 2 (рисунок 4) - называются Кл2 (Кл21...Кл2M).

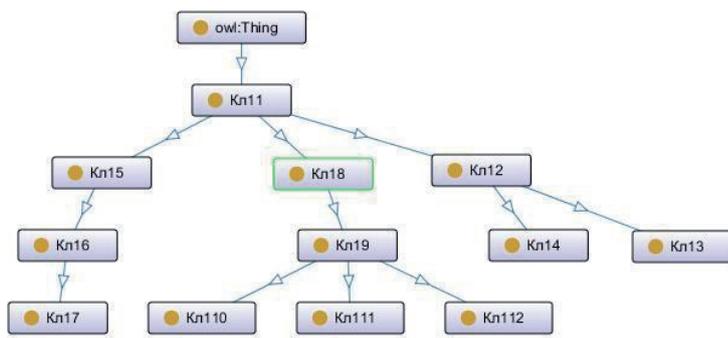


Рисунок 3 – Онтология 1

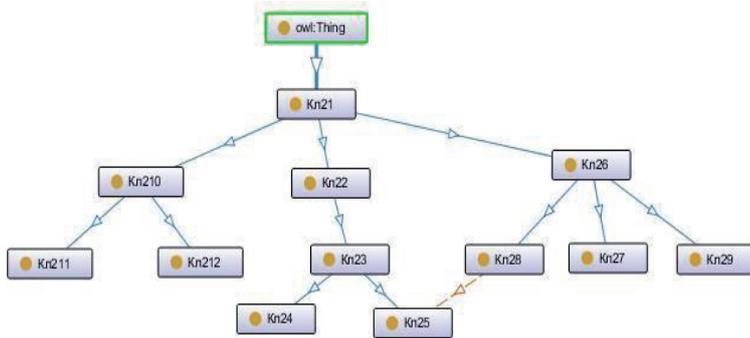


Рисунок 4 – Онтология 2

Возможность объединения онтологий, а, следовательно, интеграции ИС, на основе которых были построены онтологии, определяется связями между классами данных онтологий. Для выявления возможных связей используются знания экспертов. В данном примере в качестве экспертов выступали: преподаватели, руководители подразделений информационных технологий (ИТ), ИТ-специалисты.

Эксперты заполняют представленную в форме таблицы матрицу, в строках которой отражены классы одной онтологии, а в столбцах – другой, в ячейках указывается наличие или отсутствие связи между классами. Матрица связей онтологий приведена в таблице 1, где Кл1 и Кл2 – классы и подклассы отдельной онтологии становятся строками и столбцами матрицы.

Таблица 1 – Исходная матрица связей онтологий

		Классы Онтологии 1			
		Кл11	Кл12	...	Кл1N
Классы Онтологии 2	Кл21	a_{21}^{11}	a_{21}^{12}		a_{21}^{1n}
	Кл22	a_{22}^{11}	a_{22}^{12}		a_{22}^{1n}
	...			a_{2j}^{1i}	
	Кл2M	a_{2m}^{11}	a_{2m}^{12}		a_{2m}^{1n}

Здесь $a_{2j}^{1i} \in \{0, 50, 100\}$, где a_{2j}^{1i} принимает значение 0 в случае отсутствия связей между классами; 50 – в случае, если между классами есть опосредованная связь, т.е. взаимодействие происходит не на прямую, а через некоторые третьи классы, возможно не приведённые в матрице, 100 – в случае, если связь прямая. Пример заполнения исходной матрицы связей онтологий приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Пример заполнения экспертом матрицы связей онтологий классов Кл1-Кл2

			Кл11						
			Кл15	Кл18			Кл12		
			Кл16	Кл19					
			Кл17	Кл110	Кл111	Кл112	Кл13	Кл14	
Кл21	Кл210	Кл211		100	50	100	50	50	50
		Кл212		100	0	50	100	0	100
	Кл22	Кл23	Кл24	50	0	100	0	0	50
			Кл25	100	0	50	0	0	50
	Кл26	Кл27		100	0	100	50	0	100
		Кл29		100	0	100	50	0	100
Кл28		100	0	50	50	0	100		

Затем осуществляется сложение всех элементов для получения суммы элементов матрицы M .

$$(1) \quad M = \sum_{i=1..N, j=1..M} a_{2j}^{1i}$$

Используется простое усреднение оценок экспертов для получения общего вывода о возможности объединить данные онтологии без дополнительных преобразований.

Вводится показатель M^{max} , описывающий максимально возможное значение суммы всех элементов матрицы M . Показатель объединения для матрицы вычисляется как выраженное в процентах отношение M к M^{max} . Показатель более 50% означает, что более половины классов объединяемых онтологий имеют связи между собой.

В приведённом примере $M = 2150$ при $M^{max} = 4200$, а показатель объединения для матрицы составил 51,19%. Т.к. значение показателя более 50%, то можно утверждать, что рассмотренные две онтологии можно объединить и использовать полученную объединённую онтологию в качестве исходной для проектирования ИС Онтологии 2 с внедрённой Онтологией 1.

Оценку влияния каждого класса на возможность объединения (качество связей) онтологий можно осуществить по формуле (2), отражающей средневзвешенное мнение экспертов.

$$(2) \quad m_{\text{ср.вз.}} = \frac{\sum_{i=1..N, j=\text{const}} a_{2j}^{1i}}{M}$$

Результаты расчёта мнений экспертов для рассмотренного примера приведены в таблице 3. Из таблицы видно, что наибольшее влияние, определяемое по формуле (2), на качество оказывают Кл211, затем Кл28 и Кл212, что в сумме составляет 50% влияния.

Таблица 3 – Результаты расчёта мнений экспертов по влиянию Онтологии 2 на Онтологию 1

				среднее взвешенное мнение	место в рейтинге
Кл21	Кл210	Кл211		0,21	1
		Кл212		0,14	3
	Кл22	Кл23	Кл24	0,11	6
			Кл25	0,09	7
	Кл26	Кл27		0,13	4
		Кл29		0,12	5
		Кл28		0,20	2

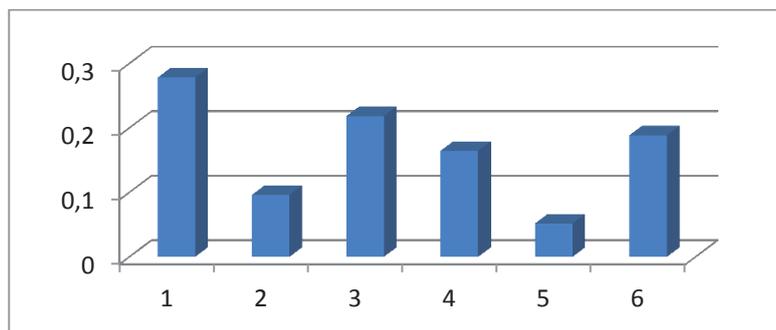


Рисунок 5 – Влияние Онтологии 1 на Онтологию 2 где 1 – Кл17, 2 – Кл110, 3 – Кл111, 4 – Кл112, 5 – Кл13, 6 – Кл14

Если рассмотреть влияние Онтологии 1 на процессы Онтологии 2, то можно его представить диаграммой (см. рисунок 5).

Из рисунка видно, что наибольшее влияние оказывают Кл17, Кл111 и Кл14.

Онтология 1, объединённая с Онтологией 2, представлена на рисунке 6.

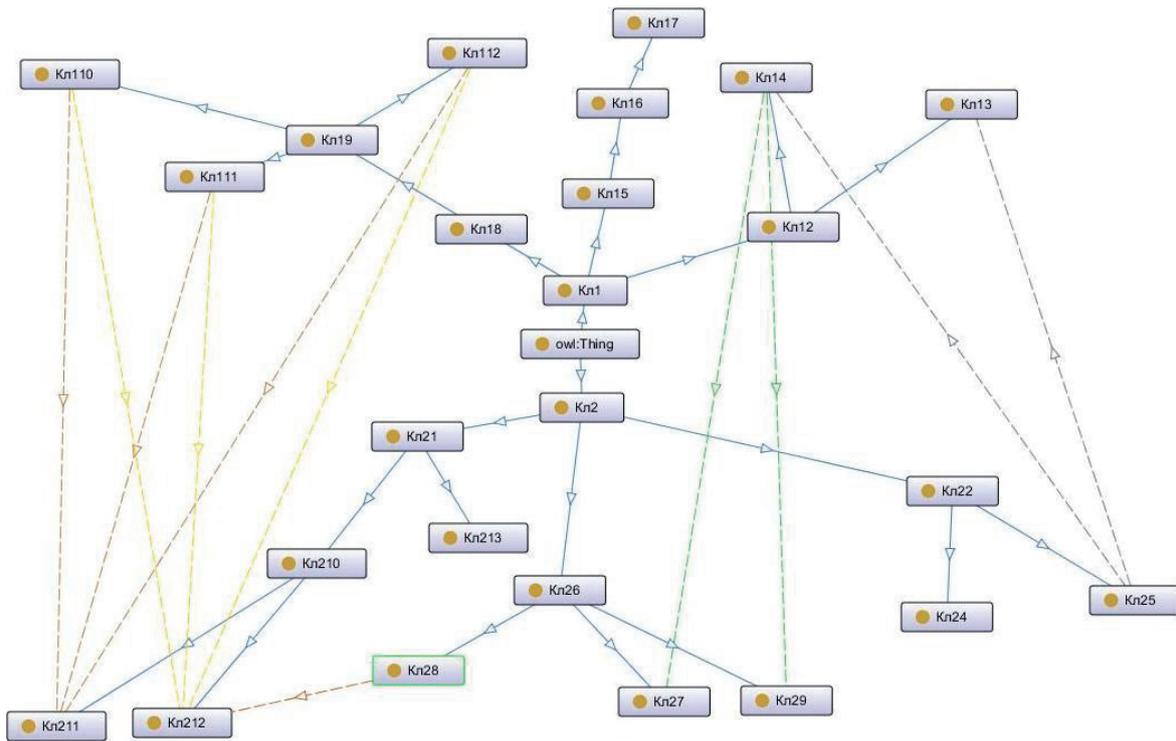


Рисунок 6 – Объединённая Онтология 12

2 Примеры объединения

Пример 1. Объединение онтологий СМК и электронного ДО

Общая онтология СМК представлена на рисунке 7. На рисунке и далее: НПД – нормативно-правовые документы; ОРД – организационно-распорядительные документы; УМК – учебно-методический комплекс.

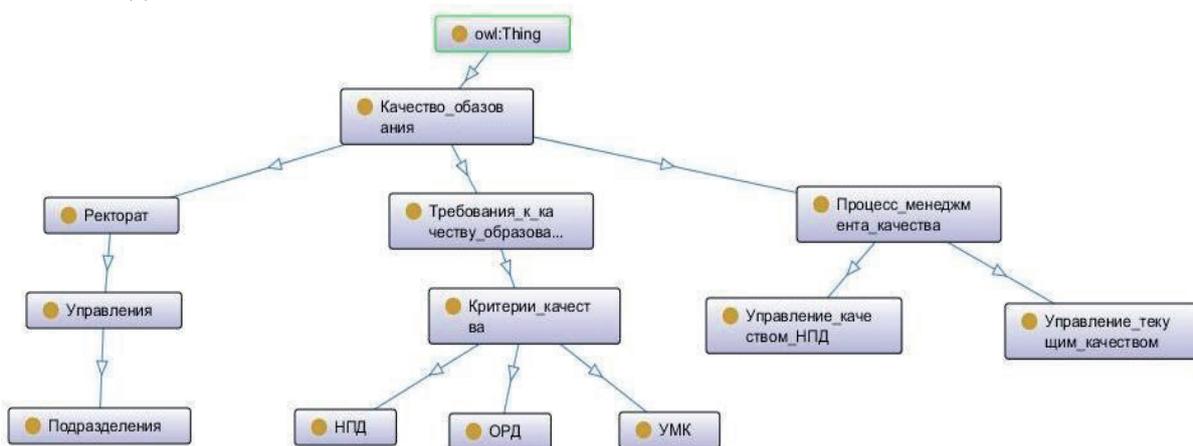


Рисунок 7 – Онтология СМК образования в ВУЗе

Онтология ДО представлена на рисунке 8.

Результаты опроса одного эксперта приведены в таблице 4. При необходимости можно использовать более сложные механизмы обработки экспертных оценок, например, метод анализа иерархий. При простом усреднении получаем показатель M_{cp} . В приведённом примере $M_{cp} = 2217$ при $M^{max} = 4200$.



Рисунок 8 – Онтология документооборота в ВУЗе

По приведённому примеру показатель объединения для матрицы составил 52,78 %. Т.к. значение показателя более 50%, то можно утверждать, что данные две онтологии можно объединять и использовать полученную объединённую онтологию в качестве исходной для проектирования ИС документооборота с внедрённой СМК.

Таблица 4 – Матрица связей онтологий СМК – ДО, заполненная экспертом

				Качество					
				Субъекты		Объекты		Процессы	
				Ректорат		Требования к качеству образования		Процесс менеджмента качества	
				Управления		Критерии качества		Управление качеством НПД	Упр-ние текущим качеством
				Подразделения	НДП	ОРД	УМК		
Документооборот	Субъекты	ЛПР		100	50	100	50	50	50
		Исполнители		100	0	50	100	0	100
	Объекты	Документ		50	0	100	0	0	50
		Карточка документа		100	0	50	0	0	50
	Процессы	Взаимодействие с пользователями		100	0	100	50	0	100
		Обработка корреспонденции		100	0	100	50	0	100
		Контроль исполнения		100	0	50	50	0	100

В таблице 5 приведены результаты расчёта (по формуле 2) мнений экспертов о влиянии ДО на СМК. Из таблицы видно, что наибольшее влияние на качество оказывают: лицо, принимающее решение (ЛПР); процесс контроля исполнения и сами исполнители.

Таблица 5 – Результаты расчёта мнений экспертов по матрицам СМК - ДО

				среднее взвешенное мнение	место в рейтинге
Документооборот	Субъекты	ЛПР		0,21	1
		Исполнители		0,15	3
	Объекты	Документ		0,10	6
		Карточка контроля		0,09	7
	Процессы	Взаимодействие с пользователями		0,14	4
		Обработка корреспонденции		0,12	5
		Контроль исполнения		0,19	2

Если рассмотреть влияние качества на процесс ДО, то можно его представить диаграммой (см. рисунок 9). Из рисунка видно, что наибольшее влияние оказывают подразделения, ОРД и текущее качество.

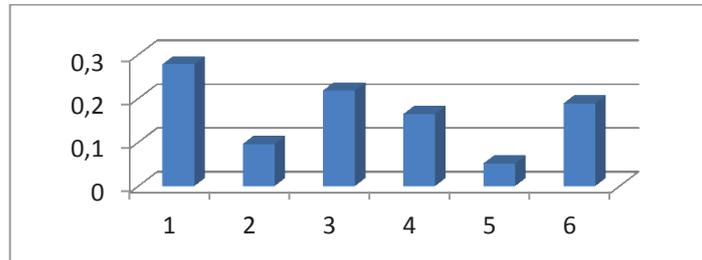


Рисунок 9 – Влияние СМК на ДО, где 1 – подразделения, 2 – НПД, 3 – ОРД, 4 – УМК, 5 – управление качеством НПД, 6 – управление текущим качеством.

Онтология документооборота, объединённая с СМК, представлена на рисунке 10.

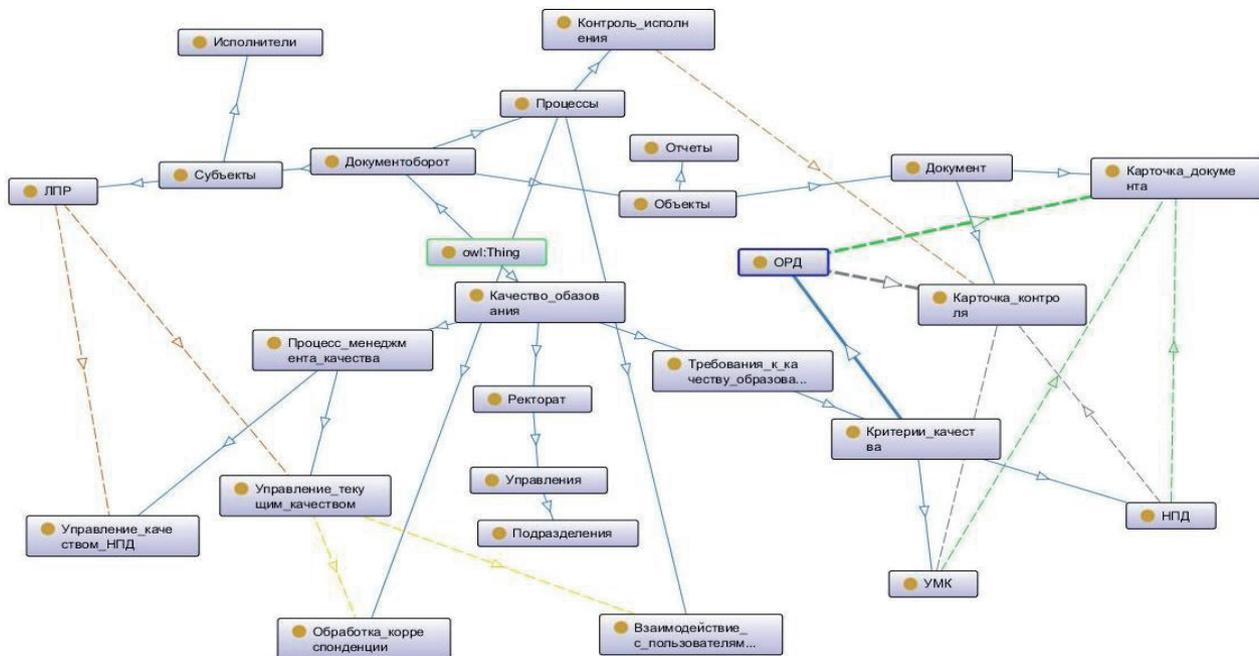


Рисунок 10 – Объединённая онтология СМК и ДО

Пример 2. Объединение онтологий учебного процесса (УП) и административно-хозяйственной деятельности (АХЧ).

Онтология УП представлена на рисунке 11, а онтология АХЧ - на рисунке 12.

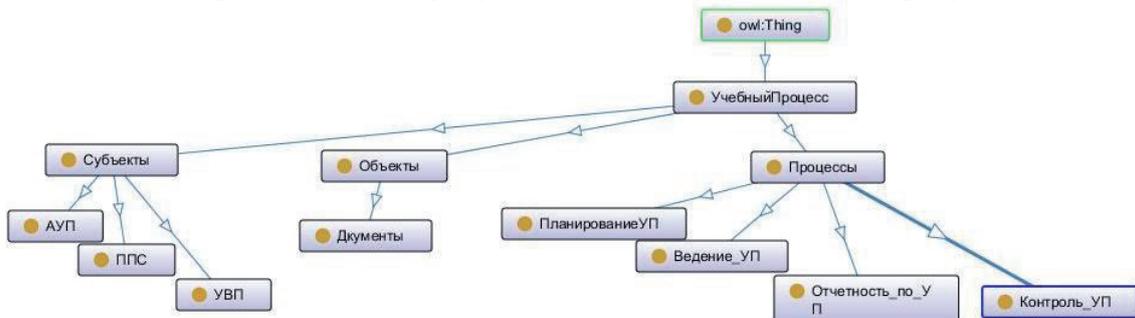


Рисунок 11 – Онтология учебного процесса

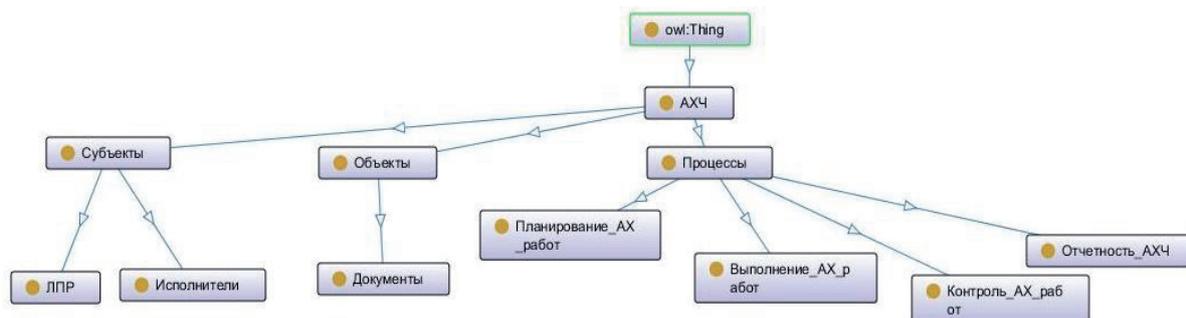


Рисунок 12 - Онтология АХЧ

Эксперты заполняют матрицу. Пример заполненной матрицы приведен в таблице 6. В примере $M_{cp} = 1400$, при $M^{max} = 5600$.

Таблица 6 – Матрица связей онтологий АХЧ-УП, заполненная экспертом

			АХЧ						
			Субъекты		Объекты	Процессы			
			ЛПР	Исполнители	Документы	Планирование АХЧ работ	Выполнение АХЧ работ	Контроль АХЧ работ	Отчетность АХЧ
Учебный процесс	Субъекты	АУП	100	50	0	50	0	0	0
		ППС	100	50	0	50	0	0	0
		УВП	100	50	0	50	0	0	0
	Процессы	Документ	50	0	50	50	50	50	50
		Планирование УП	0	0	50	50	50	0	100
		Ведение УП	0	50	50	50	100	0	50
		Контроль УП	0	0	0	0	50	0	0
Отчетность по УП	0	0	0	0	0	0	0		

Показатель объединения для матрицы составил 25 %. Таким образом, можно утверждать, что данные онтологии можно объединять либо после преобразования, либо на основе слабо интегрированного подхода. По экспертным данным видно, что наибольшее влияние на АХЧ оказывают документы УП, затем ведение и планирование УП, что в сумме составляет около 50% влияния (см. таблицу 7). Если рассмотреть влияние АХЧ на учебный процесс, то можно его представить диаграммой (см. рисунок 13). Из рисунка видно, что наибольшее влияния оказывают ЛПР, планирование АХЧ-работ и документы АХЧ.

Таблица 7 – Результаты расчёта мнений экспертов по матрицам АХЧ-УП

			среднее взвешенное мнение	место в рейтинге
Учебный процесс	Субъекты	АУП	0,18	2
		ППС	0,12	5
		УВП	0,14	3
	Процессы	Документ	0,24	1
		Планирование УП	0,13	4
		Ведение УП	0,11	6
		Контроль УП	0,05	7
Отчетность по УП	0,03	8		

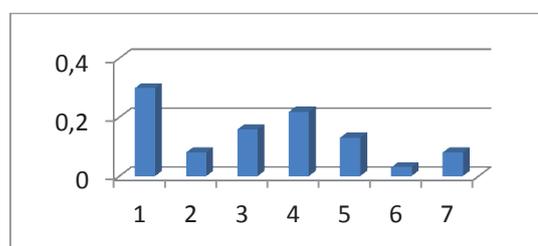


Рисунок 13 – Влияние АХЧ на УП, где 1 – ЛПР АХЧ, 2 – исполнители 3 – документы, 4 – планирование АХЧ-работ, 5 – выполнение АХЧ-работ, 6 – контроль АХЧ-работ, 7 – отчетность по АХЧ-работам.

Пример 3. Объединение онтологий УП и подрядной организации (Подрядчика).

Онтология УП приведена на рисунке 11, а онтология Подрядчика представлена на рисунке 14. Пример заполненной экспертами матрицы приведен в таблице 8.

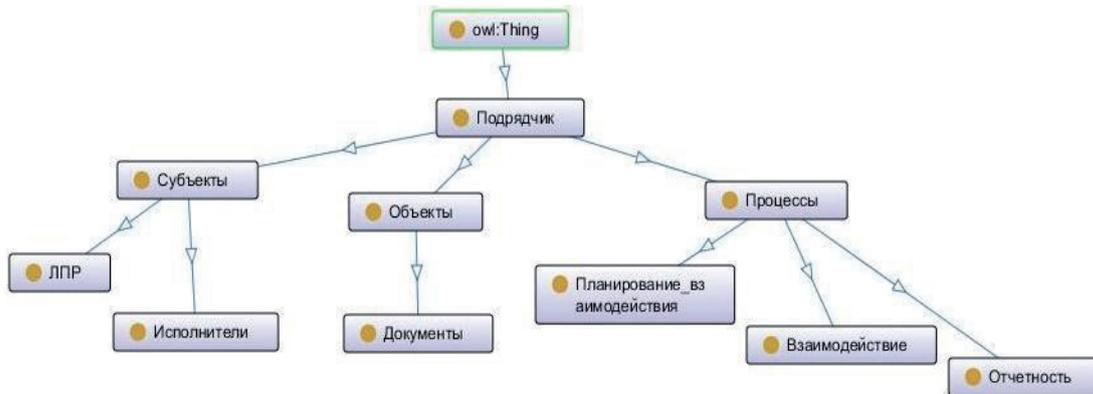


Рисунок 14 – Онтология Подрядчика

Таблица 8 - Матрица онтологий Подрядчик-УП, заполненная экспертом

			Подрядчик					
			Субъекты		Объекты	Процессы		
			ЛПР	Исполнители	Документы	Планирование взаимодействия	Взаимодействие	Отчётность
Учебный процесс	Субъекты	АУП	50	0	100	0	50	0
		ППС	0	0	50	0	0	0
		УВП	0	0	50	0	0	0
	Объекты	Документ	100	0	100	50	50	50
	Процессы	Планирование УП	0	50	50	50	0	0
		Ведение УП	0	0	50	0	0	0
		Контроль УП	0	0	0	0	0	0
		Отчётность по УП	0	0	0	0	0	0

В приведённом примере $M_{cp} = 850$, при $M^{max} = 5600$, а показатель объединения для матрицы составил около 15 %. Таким образом, данные онтологии можно объединять только на основе слабоинтегрированного подхода, например, через частичное объединение ДО.

По результатам расчёта мнений экспертов (см. таблицу 9) видно, что наибольшее влияние на Подрядчика оказывают документы УП, затем АУП, а затем планирование УП, причём основное влияние (более 40%) оказывают документы.

Таблица 9 – Результаты расчёта мнений экспертов по матрицам Подрядчик-УП

			среднее взвешенное мнение	место в рейтинге
Учебный процесс	Субъекты	АУП	0,24	2
		ППС	0,06	4/5/6
		УВП	0,06	4/5/6
	Объекты	Документ	0,41	1
	Процессы	Планирование УП	0,17	3
		Ведение_УП	0,06	4/5/6
		Контроль_УП	0	7/8
		Отчетность по УП	0	7/8

Заключение

При проектировании ИС путём объединения отдельных подсистем возникает ряд вопросов: как объединять, надо ли перепроектировать составные части, возможна ли «бесшовная» интеграция, как построить информационный обмен между частями. Одним из путей решения данных вопросов является использование онтологий, при этом ставится задача объединения онтологий, описывающих отдельные подсистемы.

В статье показано, что при объединении онтологий можно «предсказать» их уровень взаимосвязи. На основе расчёта можно выбрать наиболее простую модель интеграции ИС, что снизит затраты на общую разработку и повысит эффективность объединённой ИС.

Благодарности

Выражаем признательность коллективам кафедр автоматизированных систем управления и высокопроизводительных вычислительных технологий и систем, а также сотрудникам управления информационных технологий Уфимского государственного авиационного технического университета.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 19-08-00937 А «Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами, реализуемыми в среде производственных предприятий».

Список источников

- [1] *Dietz J.* Enterprise Ontology: Theory and Methodology. N. Y.: Springer, 2006. 243 p.
- [2] *A. van Renssen.* A Generic Extensible Ontological Language: Design and Application of a Universal Data Structure. Delft University; Delft: Delft University Press, 2005. 238 p.
- [3] *Набатов, А.Н.* Применение онтологического подхода к процессу проектирования информационной системы / А.Н. Набатов, И.Э. Веденяпин, А.Р. Мухтаров // Труды МАИ 2018. № 102, 14 с. - <http://trudymai.ru/published.php?ID=99177>.
- [4] *Тузовский, А.Ф.* Построение модели знаний организации с использованием системы онтологий / А.Ф. Тузовский, С.В. Козлов // Материалы конференции DIALOGUE 2020. - <http://www.dialogue-21.ru/digests/dialog2006/materials/html/Tuzovsky.htm>.
- [5] *Бездушный, А.Н.* Место онтологий в единой интегрированной системе РАН / А.Н. Бездушный, Э.А. Гаврилова, В.А. Серебряков, А.В. Шкотин // Вычислительный Центр РАН. - <http://www.ras.ru/ph/0006/3q3t33rc.html>.
- [6] *Харитонова, Я.А.* Онтологии как средство формирования базы знаний по многоальтернативным системам / Я.А. Харитонова, Е.С. Подвальный // Вестник Воронежского государственного технического университета 2014, т.4 - <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-kak-sredstvo-formirovaniya-bazy-znaniy-po-mногоalternativnym-sistemam>.
- [7] *Горшков, С.* Использование онтологий в корпоративных автоматизированных системах / С. Горшков // Научно-публицистический журнал «Цифровая экономика». 16.12.2017. - <http://digital-economy.ru/mneniya/ispolzovanie-ontologij-v-korporativnykh-avtomatizirovannykh-sistemakh>.
- [8] *Лапшин, В.А.* Онтологии в компьютерных системах / В.А. Лапшин. - М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
- [9] *Шахиди Акобир.* Онтология анализа данных / Акобир Шахиди. BaseGroupLab 2003 - <https://basegroup.ru/community/articles/ontology>.
- [10] *Парашук, А.В.* Исследование методов оценки качества онтологии предметной области / А.В. Парашук, А.А. Рыбанов // Научный журнал «NovaInfo.ru» №43-1, 31.03.2016. - <https://novainfo.ru/article/4981>.
- [11] *Маслов, В.А.* Обработка семантических запросов в среде Protégé на примере построения онтологии дорожных знаков / В.А. Маслов, С.М. Соколов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 260. - <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-260>.
- [12] *Антонов, И.В.* Метод построения онтологии предметной области / И.В. Антонов, М.В. Воронов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2010. № 2. С. 28-32.

- [13] **Гвоздев, В.Е.** Построение модели многосвязного объекта на основе совместного использования данных и экспертных оценок / В.Е. Гвоздев, Р.А. Мунасыпов, О.Я. Бежаева, Д.Р. Ахметова // *Онтология проектирования*. – 2019. – Т.9, №3(33). – С.361-368. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-3-361-368.
- [14] **Гончар, А.Д.** Сравнительный анализ баз данных и баз знаний (онтологий) применимо к моделированию сложных процессов / А.Д. Гончар // *Современные научные исследования и инновации*. 2014. № 5. Ч. 1 - <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34325>.
- [15] **Заковряшин, А.И.** Метод количественных оценок технических состояний сложных систем / А.И. Заковряшин // *Труды МАИ*. 2014. №72. - <http://trudymai.ru/published.php?ID=47270>.
- [16] Онтологии в семантически интероперабельных экосистемах. Коммюнике Онтологического Саммита 2016. http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique_
- [17] **Adrian Walker.** Semantic Interoperability via Business Rules in Open Vocabulary, Executable English. - https://ontologforum.org/index.php/ConferenceCall_2005_12_15.
- [18] **Болотникова, Е.С.** Об одном методе оценки онтологий / Е.С. Болотникова, Т.А. Гаврилова, В.А. Горовой // *Известия РАН, Теория и системы управления*, N3, 2011. – С.98-110.

Сведения об авторах



Набатов Александр Нурович, 1967 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет в 1992 г., к.т.н. (1995). Доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов более 80 работ в области АСУ. AuthorID (РИНЦ): 1004548. Author ID (Scopus): 6602859711. nbtv@yandex.ru.

Веденяпин Игорь Эдуардович, 1972 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет в 1995 г., к.т.н. (2003). Доцент кафедры высокопроизводительных вычислительных технологий и систем Уфимского государственного авиационного технического университета.

Заместитель начальника управления информационных технологий Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов более 70 работ в области информационных систем управления, систем менеджмента качества. AuthorID (РИНЦ): 126719. vig@ugatu.su.



Поступила в редакцию 20.04.2020, после рецензирования 06.05.2020. Принята к публикации 22.06.2020.

The ontology of merging information subsystems: principles and examples

A.N. Nabatov, I.E. Vedenyapin

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Abstract

The article is devoted to the issues of merging ontologies. These ontologies are used in the design of subsystems included in the corporate information system. This problem arises when it is necessary to build a united ontology for the design of information systems in the process of integrating various information solutions, as well as in the step-by-step design of a corporate information system created by different developers in different times. It is assumed that ontologies are built based on the same principles and on the basis of one thesaurus. But nevertheless, the task of a merged ontology may have significant difficulties in combining different ontologies that describe different subsystems of an enterprise. The authors investigated the formal determination of the possibility to merge ontologies without their preliminary revision. The article proposes a criterion for the possibility of merging. The method based on expert opinions for calculating the criterion is proposed. Various examples of merging different ontologies with the calculation of the proposed criterion are also considered. The novelty of the presented material lies in developing the principle and criterion for merging ontologies and a methodology for the application of this criterion.

Key words: ontologies, merged ontologies, designing, information systems, information systems design, corporate information systems

Citation: Nabatov AN, Vedenyapin IE. The ontology of merging information subsystems: principles and examples [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(2): 218-231. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-218-231.

Acknowledgment: We express our gratitude to the teams of the departments of automated control systems and high-performance computing technologies and systems, as well as to the staff of the information technology department of the Ufa State Aviation Technical University. The research was supported by the RFBR grant No. 19-08-00937 A “Methods and models of intellectual decision making support in software project management implemented on manufacturing enterprises”.

List of figures and tables

- Figure 1 – Possible ways of modeling and representing the subject area
Figure 2 – The general scheme of the subject area transformation into various information systems
Figure 3 – Ontology 1
Figure 4 – Ontology 2
Figure 5 – The influence of Ontology 1 on Ontology 2
Figure 6 – Joint Ontology 12
Figure 7 – Ontology of the education quality at the university
Figure 8 – University document workflow ontology
Figure 9 – The influence of quality on the document workflow
Figure 10 – Joint ontology of the quality management system and document workflow
Figure 11 – Ontology of the educational process
Figure 12 – Ontology of Service department
Figure 13 – The influence of the educational process on Service department
Figure 14 – Contractor ontology
Table 1 – The source matrix of ontology relationships
Table 2 – An example of an expert filling in an ontology relationship matrix of C1-C2 classes
Table 3 – Calculation of expert evaluations on Ontology 2 - Ontology 1
Table 4 – QM-DMS ontology matrix completed by an expert
Table 5 – Calculation of expert evaluations on QM-DMS matrices
Table 6 – Service department – Education process ontology matrix completed by an expert
Table 7 – Calculation of expert evaluations on Service department – Education process matrices
Table 8 – Contractor - Education process ontology matrix completed by an expert
Table 9 – Calculation of expert evaluations on Contractor - Education process matrices

References

- [1] **Dietz J.** Enterprise Ontology: Theory and Methodology. N. Y.: Springer, 2006. 243 p.
- [2] **A. van Renssen.** A Generic Extensible Ontological Language: Design and Application of a Universal Data Structure. Delft University; Delft: Delft University Press, 2005. 238 p.
- [3] **Nabatov AN, Vedenyapin IE, Muhtarov AR.** Application of an ontological approach to the design process of an information system [In Russian]. Proceedings of the Moscow Aviation Institute 2018. No. 102, 14 p. <http://trudymai.ru/published.php?ID=99177>.
- [4] **Tuzovski AF, Kozlov SV.** Construction of the organization knowledge model using a system of ontologies [In Russian]. Conference materials DIALOGUE 2020. <http://www.dialog-21.ru/digests/dialog2006/materials/html/Tuzovsky.htm>.
- [5] **Bezdushni AN, Gavrilova EA, Serebryakov VA, Shkotin AV.** The place of ontologies in a single integrated system of RAS [In Russian]. Computing Center RAS. <http://www.ras.ru/ph/0006/3q3t33rc.html>.
- [6] **Haritonova YA, Podvalni ES.** Ontologies as a means of forming a knowledge base for multi-alternative systems [In Russian]. Bulletin of Voronezh State Technical University 2014, v.4. <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-kak-sredstvo-formirovaniya-bazy-znaniy-po-mnogoalternativnym-sistemam>.
- [7] **Gorshkov S.** Using ontologies in corporate automated systems [In Russian]. Scientific publicist journal “Digital Economy”. 16.12.2017. <http://digital-economy.ru/mneniya/ispolzovanie-ontologij-v-korporativnykh-avtomatizirovannykh-sistemakh>.

-
- [8] **Lapshin VA.** Ontologies in computer systems [In Russian]. Moscow. Nauchni mir; 2010. 224 p.
- [9] **Shahdi Akobir.** Data Analysis Ontology. BaseGroupLab 2003. https://basegroup.ru/community/articles/ontology_
- [10] **Prashuk AV, Ribanov AA.** Research methods for quality control of the ontology of the subject area [In Russian]. Scientific Magazine «NovaInfo.ru» N43-1, 31.03.2016. https://novainfo.ru/article/4981_
- [11] **Maslov VA, Sokolov SM.** Processing semantic queries in the Protégé environment on the example of building an ontology of road signs [In Russian] // Preprints IPM M.V. Keldysh. 2018. N260. DOI:10.20948/prepr-2018-260. http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-260_
- [12] **Antonov IV, Voronov MV.** A method for constructing a domain ontology [In Russian]. Bulletin of Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2010; 2: 28-32.
- [13] **Gvozdev VE, Munasyrov RA, Bezhayeva OY, Akhmetova DR.** Construction of a multi-connected object model based on joint use of data and expert evaluations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(3): 361-368. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-3-361-368.
- [14] **Gonchar AD.** Comparative analysis of databases and knowledge bases (ontologies) for complex processes modeling [In Russian]. Modern research and innovation. 2014. N5. part 1. http://web.snauka.ru/issues/2014/05/34325_
- [15] **Zakovryashin AI.** A method for quantitative assessment of the technical conditions of complex systems [In Russian]. Proceedings of the Moscow Aviation Institute [Trudi MAI] 2014. N72. <http://trudymai.ru/published.php?ID=47270>.
- [16] Ontology Summit 2016 Communique. Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique_
- [17] **Adrian Walker.** Semantic Interoperability via Business Rules in Open Vocabulary, Executable English. https://ontologforum.org/index.php/ConferenceCall_2005_12_15_
- [18] **Bolotnikova ES, Gavrilova TA, Gorovoi VA.** About an ontology evaluation method [In Russian]. *Izvestiya RAS. Theory and Control Systems*, 2011; 3: 98-110.
-

About the authors

Alexander Nurovich Nabatov (b. 1967) graduated from Ufa State Aviation Technical University in 1992, PhD (1995). He is an Associate Professor at Ufa State Aviation Technical University (Department of Automated Control Systems). He is the co-author of about 80 scientific articles and abstracts in the field of ACS. AuthorID (RCI): 1004548. Author ID (Scopus): 6602859711. nbtv@yandex.ru

Igor Eduardovich Vedenyapin (b. 1972) graduated from Ufa State Aviation Technical University in 1995, PhD (2003). He is an Associate Professor of High Performance Computing Technology and Systems at Ufa State Aviation Technical University. He is a Deputy Head of Information Technology Department of Ufa State Aviation Technical University. There are more than 70 works in the field of information management systems, quality management systems in the list of his scientific works. AuthorID (RCI): 126719. vig@ugatu.su

Received April 20, 2020. Revised May 06, 2020. Accepted June 22, 2020.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 519.5

DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-232-245

Механизмы принятия оптимальных решений в управлении развитием «умного города»

С.А. Пиявский¹, Д.В. Киселев²

¹Московский городской педагогический университет (Самарский филиал), Самара, Россия

²АНО «Инновационный центр «Цифрономика», Тольятти, Россия

Аннотация

Устойчивое развитие городов должно происходить на основе инновационных, в первую очередь инфокоммуникационных, технологий. Эти технологии должны использоваться наиболее эффективным образом, причём население должно иметь необходимые «умные» компетенции и инструментарий, чтобы полноценно участвовать в принятии всех необходимых решений. В статье предлагаются соответствующие методология и математический аппарат для принятия сложных решений, основанные на методах системного анализа, математического и компьютерного моделирования, многокритериальной оптимизации. Разработаны: организационно-методическая процедура моделирования, оптимизации и согласования решений; математическая модель согласования интересов различных заинтересованных групп при принятии решений о развитии города; основные проектные решения по созданию городского портала, обеспечивающего непосредственное участие населения в согласованном принятии решений. В основе предложенного подхода - метод универсальных коэффициентов, позволяющий различным заинтересованным группам в удобной для них форме наиболее полно представлять собственные предпочтения и предвидеть последствия принимаемых решений. Разработанная математическая модель принятия решений в рамках концепции «умного города» носит оптимизационный характер и позволяет на основе введённых в неё отдельных мероприятий формировать согласованный план развития «умного города».

Ключевые слова: многокритериальный анализ решений, умный город, математическая модель, оптимизация, метод универсальных коэффициентов, согласование решений.

Цитирование: Пиявский, С.А. Механизмы принятия оптимальных решений в управлении развитием «умного города» / С.А. Пиявский, Д.В. Киселев // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №2(36). - С.232-245. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-232-245.

Введение

Одной из актуальных проблем в век урбанизации и информатизации является проблема развития городов на базе новых возможностей, предоставляемых информационными технологиями [1, 2]. Мировой опыт в области устойчивого развития городов и поселений отражен в [3]. В России признанием важности этой проблемы является ведомственный проект цифровизации городского хозяйства «Умный город», реализуемый с 2018 года в рамках национального проекта «Жилье и городская среда», национальной программы «Цифровая экономика» [4]. Проекты концепций умных городов в России представлены в [5, 6].

Концепция развития «умного города» включает два взаимосвязанных компонента: технологический и управленческий [7]. Первый компонент отражает применение новых технологий - всё то, что называют «умные вещи», «Интернет вещей» и др. - во всех отраслях городского хозяйства: жилищно-коммунальное хозяйство, медицина, образование, транспорт,

сфера услуг и т.п. Второй компонент отражает необходимость выработки оптимальных решений по развитию городской среды с рациональным использованием существующих и перспективных информационных технологий с учётом социально-экономических факторов, ориентации на междисциплинарное взаимодействие, умения интегрировать управленческие решения, принимаемые на различных уровнях, предвидеть, как изменения в одной системе городского хозяйства повлияют на другие системы [8].

1 «Умному городу» – «умные решения»

Управленческий компонент концепции развития «умного города» включает объект управления - городское хозяйство и субъект управления - систему управления городским хозяйством. Последняя содержит блоки целеполагания, прогнозирования, ресурсного обеспечения, планирования (стратегического и оперативного), регулирования, измерения, оценки эффективности, которые образуют замкнутый цикл. Каждый из этих блоков использует соответствующие математические модели и механизм принятия оптимальных решений на основе многокритериальной оценки их эффективности (рисунок 1).

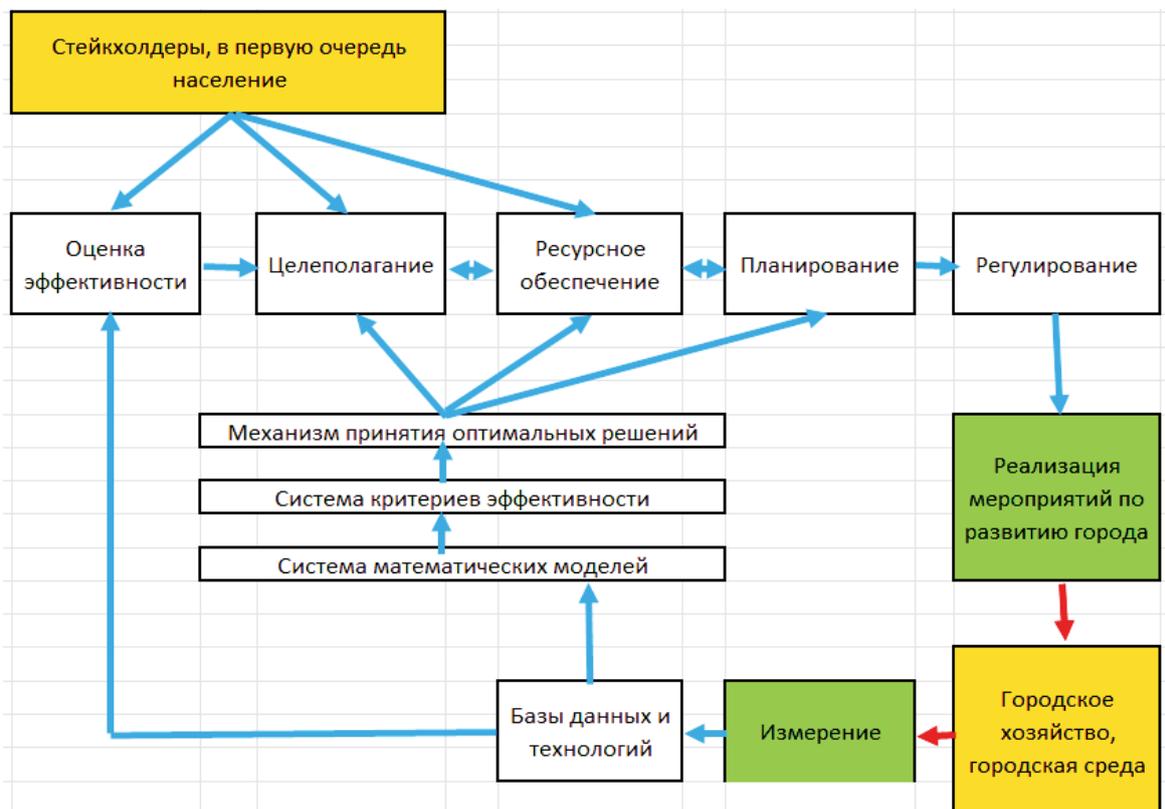


Рисунок 1 – Основные блоки управления развитием города

Ключевой особенностью принятия решений в управлении развитием «умного города» является содержание понятия «Лицо, принимающее решение» – ЛПР. Хотя, в конечном счёте, оно персонифицируется в личности уполномоченного на это человека (руководителя органа муниципального управления, мэра города), его решения отражает консенсус, достигнутый между различными заинтересованными группами (стейкхолдерами), в первую очередь органами власти, различными слоями населения и распорядителями ресурсов, направляемых на развитие города. Следует отметить одну существенную категорию стейкхолдеров – донаторов, которые не просто проявляют свою заинтересованность в принятии тех или иных ме-

роприятий, но и готовы, в случае их включения в проект, самостоятельно профинансировать включение других мероприятий, в которых заинтересованы другие стейкхолдеры, или просто внести свой дополнительный взнос в общий бюджет проекта.

Механизм принятия решений должен обеспечивать построенное на объективной доказательной основе согласование интересов стейкхолдеров. Информационной базой для этого является система математических моделей, опирающаяся на базу данных и технологий, и система критериев эффективности. Организационно-методическая база - современные информационно-коммуникационные технологии и формализованные методы сравнения многокритериальных альтернатив.

2 Математическая модель принятия решений в управлении развитием «умного города»

Базовая математическая модель формализует основные сущности, используемые при математическом моделировании воздействия новых технологий на городское хозяйство и городскую среду. Для обеспечения реального процесса выработки решений на её базе должна быть разработана более эффективная в вычислительном отношении модель, которая в процессе эксплуатации может непрерывно пополняться встраиваемыми дополнительными модулями, отражающими уникальные особенности конкретной ситуации.

Введённые обозначения:

- i – номер технологии, $i = 1, \dots, I$;
- j – номер отрасли городского хозяйства, $j = 1, \dots, J$;
- q – номер масштаба внедрения i -й технологии в j -й отрасли, $q = 1, \dots, Q_{ij}$;
- z – номер мероприятия $z = 1, \dots, Z$;
- $I_z^i = \begin{cases} 1 & \text{если } i \text{ – я технология используется в мероприятии } z, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- $J_z^j = \begin{cases} 1 & \text{если на } j \text{ – ю отрасль городского хозяйства распространяются результаты мероприятия } z, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- $Q_z^q = \begin{cases} 1 & \text{если мероприятие } z \text{ может реализовываться в масштабе } q, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- (i, j, q) – вектор, характеризующий конкретное мероприятие, состоящее во внедрении i -й технологии в q -м масштабе в j -ю отрасль городского хозяйства;
- $a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } i \text{ – я технология может быть внедрена в } j \text{ – й отрасли,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- k – номер конкретной организации-исполнителя, которая может быть привлечена к работам по развитию «умного города», $k = 1, \dots, K$;
- $b_z^k = \begin{cases} 1 & \text{если } k \text{ – й исполнитель компетентен в мероприятии } z, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- $c_{xy} = \begin{cases} 1 & \text{если для мероприятия } x \text{ необходима реализация мероприятия } y, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- r – номер среды жизнедеятельности населения, $r = 1, \dots, R$;
- f^t – название t -го частного критерия повышения качества жизни населения города в сфере жизнедеятельности в результате реализации планируемых мероприятий, $t = 1, \dots, T$;
- f_z^{rt} – ожидаемое значение критерия f^t в результате реализации мероприятия z ;
- p – вид ресурса, $p = 1, \dots, P$;
- S_z^p – величина p -го вида ресурсов, необходимая для реализации мероприятия z ;
- S^{pk} – располагаемые организацией-исполнителем ресурсные возможности;
- $X^k = \begin{cases} 1 & \text{если донатором сделано предложение по мероприятиям этого исполнителя,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- $W^k = \begin{cases} 1 & \text{если предложение донатора принято,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$;
- w^{pk} – ресурсы, которые исполнитель-донатор готов внести в общий фонд ресурсов, выделяемых на реализацию проекта в целом, если в проект будут включены все предложенные им мероприятия, которые при этом из общего фонда не будут финансироваться,

- $V_z^{kq} = \begin{cases} 1 & \text{если выполнение мероприятия } z \text{ поручено } k - \text{му исполнителю в масштабе } q, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$
- $V_z = \begin{cases} 1 & \text{если мероприятие } z \text{ реализовано,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$, $V_z = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q V_z^{kq}$ (с учётом того, что реализация мероприятия может быть поручена только единственному исполнителю и только в одном масштабе);
- e_i^p - величина p -го вида ресурсов, необходимая для базового освоения технологии i при реализации каких-либо мероприятий, основанных на этой технологии;
- $U_i = \begin{cases} 1 & \text{если технология } i \text{ подлежит базовому освоению,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$
- F^{rt} - суммарный ожидаемый эффект от увеличения показателей с номерами t в каждой из сфер жизнедеятельности населения города r :

$$F^{rt} = \sum_{z=1}^Z f_z^{rt} V_z;$$

- S_{sum}^p - суммарные затраты ресурсов каждого вида на выполнение всех мероприятий проекта:

$$S_{sum}^p = \sum_{z=1}^Z \sum_{k=1}^K s_z^p b_z^k (V_z^k - W^k) + \sum_{i=1}^I e_i^p, p = 1, \dots, P;$$

- S_0^p - основные (без донаторов) ресурсы, выделяемые на реализацию проекта p ;
- S_{max}^p - общие располагаемые ресурсы на реализацию проекта (основные и донаторов) p :

$$S_{max}^p = S_0^p + \sum_{k=1}^K w^{pk} W^k, p = 1, \dots, P.$$

Принимаемое решение состоит в задании совокупности значений переменных V_z^k , U_i , W^k .

При этом они должны удовлетворять следующим ограничениям:

- 1) Из возможных масштабов реализации конкретной технологии в конкретной отрасли может быть реализована только одна:

$$\sum_{q=1}^{Q_{ij}} Q_z^q V_z^k \leq 1, \quad z = 1, \dots, Z;$$

- 2) Для реализации мероприятия должна быть базово освоена необходимая технология:

$$I_z^i V_z \leq U_i, \quad i = 1, \dots, I, \quad z = 1, \dots, Z;$$

- 3) Для возможности реализации мероприятия необходима реализация всех обеспечивающих его мероприятий:

$$V_x \leq \frac{\sum_{y=1}^Z V_y c_{xy}}{\sum_{y=1}^Z c_{xy}}, \quad x = 1, \dots, Z;$$

- 4) Для реализации конкретного мероприятия может быть привлечён лишь один исполнитель:

$$\sum_{k=1}^K V_z^k \leq 1, \quad z = 1, \dots, Z;$$

- 5) Поручить исполнение мероприятия можно лишь тому исполнителю, который компетентен в этом мероприятии:

$$V_z^k \leq b_z^k, \quad z = 1, \dots, Z, \quad k = 1, \dots, K;$$

- 6) Располагаемые исполнителем ресурсные возможности по каждому необходимому виду ресурсов S^{pk} должны быть достаточны для выполнения всех порученных ему мероприятий:

$$S^{pk} \geq \sum_{z=1}^Z S_z^p V_z^k, \quad p = 1, \dots, P, \quad k = 1, \dots, K;$$

- 7) Предложение донатора принято:

$$W^k \leq X^k, \quad k = 1, \dots, K;$$

- 8) Если предложение донатора принято, должны быть включены в проект все предложенные им мероприятия:

$$V_z^k \geq b_z^k W^k, \quad z = 1, \dots, Z, \quad k = 1, \dots, K.$$

- 9) Проект должен быть обеспечен финансированием:

$$S_{sum}^p \leq S_{max}^p, \quad p = 1, \dots, P.$$

Переменные S_{sum}^p , F^{rt} образуют совокупность частных критериев, по которым всем стейкхолдерам, в качестве коллективного ЛПП, предстоит принять наиболее рациональное решение об уровне финансирования проекта и распределении выделенных ресурсов между отдельными мероприятиями, направленными на развитие города. Современные математические методы принятия многокритериальных решений позволяют осуществить эту процедуру на основе описанной математической модели с соблюдением баланса интересов всех групп стейкхолдеров.

3 Механизм принятия оптимальных решений в управлении развитием «умного города»

Несмотря на существующий инструментарий [9, 10], технология реализации партисипативного подхода, при котором в рамках местного самоуправления население активно участвует путём выдвижения инициатив в определении целей расходования части бюджетных средств, в нашей стране часто ограничиваются проведением так называемых «общественных слушаний».

Предложенная базовая математическая модель с её возможными расширениями, отражающими специфику конкретной ситуации в городской среде, позволяет осуществить принятие решения по схеме «**формирование вариантов решений – оценка последствий их реализации**». Если выбраны:

- возможные донаторы W^k и рассчитан располагаемый ресурсный фонд, включающий ресурсы, предложенные донаторами с учётом поставленных ими условий;
- возможные инновационные технологии i и основанные на них мероприятия V_z по развитию города;
- компетентные исполнители для их осуществления V_z^{kq} ;
- рассчитать набор показателей f_z^{rt} , полноценно и многосторонне характеризующих все последствия этого выбора, то математическую модель можно использовать в качестве *расчётной модели*.

Такая схема принятия решения имеет два существенных недостатка, которые заключаются в трудностях формирования вариантов решений и возможности различным участникам «коллективного ЛПП», особенно населению, согласованно выбрать наиболее рациональный вариант.

Преодолеть эти трудности позволяет применение системного подхода, которое состоит в том, чтобы, используя компьютерные телекоммуникационные технологии, базовую математическую модель и методы принятия многокритериальных решений, провести процесс принятия решения по обратной схеме «**желаемые последствия – вариант решения, оптимально реализующий эти последствия**», активно включив в процесс принятия решения все заинтересованные группы. Для того, чтобы реализовать эту схему, нужно преобразовать базовую модель в *оптимизационную*, а именно, дополнить блоком, позволяющим объективно сравнить между собой всю совокупность последствий различных решений, а для этого необходимо свести совокупность показателей f_z^{rt} к количественному комплексному числовому критерию.

Наиболее известны три метода перехода от совокупности показателей к одному числовому критерию: метод весовых коэффициентов линейной свертки, метод функций полезности и метод аналитической иерархии (см., например, [11]).

Метод весовых коэффициентов применяется в подавляющем большинстве случаев. В нём комплексный критерий рассматривается как среднее значение частных критериев, которые предварительно приводятся к относительной шкале (от нуля до единицы), а затем

умножаются на весовые коэффициенты, которые отражают сравнительную важность каждого критерия. В весовых коэффициентах заключается субъективизм, потому что тот субъект, который указывает их значения, определяет результат принятия решения.

Метод функций полезности напрямую не требует от ЛПР задания весовых коэффициентов. Они рассчитываются математическим путём после того, как ЛПР проведёт процедуру сравнения важности каждой пары критериев так называемым методом «мысленных лотерей».

Метод аналитической иерархии, получивший определённое применение [8, 12, 13], включает процедуру попарного сравнения между собой частных критериев, определив в каждом случае в каком из отношений, указанных в первом столбце таблицы 1, они находятся.

Таблица 1 – К методу аналитической иерархии

Отношения сравнительной важности между двумя частными критериями	Шкала относительной важности, используемая при расчёте коэффициентов сравнительной важности критериев в методе аналитической иерархии
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное или сильное превосходство	5
Значительное (большое) превосходство	7
Очень большое превосходство	9

Числа, приведённые в правом столбце таблицы 1, установлены автором метода - Т. Саати и отражают лишь *его* субъективное мнение.

Метод универсальных коэффициентов (МУК) в максимально возможной степени лишён недостатка субъективности при принятии многокритериальных решений [14-16]. Показано, что при исходном предположении о правиле выбора в условиях неопределённости, значения коэффициентов сравнительной важности частных критериев зависят не от конкретной предметной области, а лишь от количества частных критериев и распределения их по группам важности. Исходное предположение состоит в том, что если совершенно равные по своим достоинствам эксперты оценят какое-либо решение, то за итоговую его оценку следует принять среднее значение всех оценок (осреднённый подход) или, в критической ситуации – наихудшую из них (гарантирующий подход). В МУК вместо реальных экспертов используются их математические модели. Суть математической модели эксперта проста: она представляет собой набор случайно заданных чисел – возможных коэффициентов сравнительной важности критериев, удовлетворяющих двум условиям:

- сумма коэффициентов равна единице;
- значения коэффициентов, отвечающих более важным критериям, больше значений коэффициентов, отвечающих менее важным критериям.

Таким образом, каждый возможный вариант решения задачи есть точка в пространстве, размерность которого равна числу критериев в рассматриваемой задаче, а вся совокупность моделей – некоторая фигура в этом пространстве. Показано, что универсальные коэффициенты сравнительной важности частных критериев (УКВ) представляют собой координаты центра масс этой фигуры.

Пример значений УКВ для случая трёх частных критериев представлен в таблице 2.

Эту таблицу можно использовать при решении любых задач принятия решений с тремя частными критериями. При этом ЛПР исполняет положенную ему по статусу роль: формирует политику выбора, относя частные критерии к соответствующим группам важности. Разработанная компьютерная программа позволяет на основе исходных данных математической модели получить оптимальное решение с оценкой каждого из рассматриваемых вариантов.

Таблица 2 - Универсальные коэффициенты сравнительной важности трёх частных критериев

Распределение трёх частных критериев по группам сравнительной важности			Универсальные коэффициенты сравнительной важности частных критериев для задач принятия решений с тремя частными критериями		
Обычные	Важные	Наиболее важные	Для обычных критериев	Для важных критериев	Для наиболее важных критериев
3			0,333	-	-
2	1		0,194	0,611	-
1	2		0,111	0,444	-
1	1	1	0,111	0,278	0,611

4 Пример согласованного выбора оптимального решения МУК

Применение описанной технологии показано на примере задачи выбора оптимального проекта решения транспортной проблемы. Пример носит иллюстративный характер, все данные условные.

Пусть необходимо выбрать один из пяти возможных проектов (П0 - П4), эффективность которых оценивается четырьмя частными критериями (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели эффективности различных вариантов решения транспортной проблемы в городе

Варианты решения проблемы	Названия показателей и направления их желательного изменения			
	Степень уменьшения среднего времени ожидания общественного транспорта в часы пик	Степень уменьшения среднего времени простоя личного автотранспорта в пробках	Относительная величина увеличения дополнительного налога на граждан	Коэффициент улучшения состояния воздушного бассейна
	макс	макс	мин	макс
П0	0	0	0	0
П1	1,09	3,66	1,35	0,46
П2	1,48	2,45	1,53	0,63
П3	1,98	1,78	1,02	0,25
П4	2,50	2,06	2,49	0,73
мин	0	0	0	0
макс	2,50	3,66	2,49	0,73

В соответствии с МУК, ЛПР для решения задачи должен указать желаемую политику выбора, на основе которой будет выбран оптимальный вариант. В данном примере ЛПР является коллективным и включает три категории стейкхолдеров, представляющих население города:

- А. работающие граждане, имеющие личный автотранспорт;
- В. работающие граждане, не имеющие личного автотранспорта и пользующиеся общественным транспортом;
- С. остальные граждане.

Каждая из этих групп имеет собственные интересы и предложит свой вариант политики выбора (таблица 4). Видно, что эти политики различны. Все граждане экономят деньги, считают экологический эффект важным, хотя и не решающим по сравнению с личными финансовыми затратами, а остальные два критерия у различных категорий граждан существенно разнятся. Структура соответствующих политик выбора показана в левой части таблицы 5. Видно, что у двух категорий стейкхолдеров структура политик выбора совпадает, хотя сами политики выбора различны. В правой части таблицы приведены универсальные коэффициенты важности частных критериев, отвечающие соответствующим политикам выбора. Они взяты из универсальных таблиц, приведённых в [11].

Таблица 4 – Политики выбора различных категорий стейкхолдеров

Категории стейкхолдеров	Названия показателей эффективности проектов			
	Степень уменьшения среднего времени ожидания общественного транспорта в часы пик	Степень уменьшения среднего времени простоя личного автотранспорта в пробках	Относительная величина увеличения дополнительного налога на граждан	Коэффициент улучшения состояния воздушного бассейна
А.	Обычной важности	Наиболее важный	Наиболее важный	Повышенной важности
В.	Наиболее важный	Обычной важности	Наиболее важный	Повышенной важности
С.	Обычной важности	Обычной важности	Наиболее важный	Повышенной важности

Таблица 5 – Структура политик выбора различных категорий стейкхолдеров

Категории стейкхолдеров	Количество критериев в группе важности			Универсальные коэффициенты важности критерия в группе важности		
	Обычной важности	Повышенной важности	Наиболее важный	Обычной важности	Повышенной важности	Наиболее важный
А.	1	1	2	0,062500	0,145833	0,395833
В.	1	1	2	0,062500	0,145833	0,395833
С.	2	1	1	0,104167	0,270833	0,520833

После этого простейшие правила позволяют рассчитать комплексную оценку эффективности различных проектов как сумму произведений нормированных значений критериев и их коэффициентов важности с позиций каждой категории стейкхолдеров (таблица 6).

Таблица 6 – Комплексная оценка проектов с позиций различных категорий стейкхолдеров

		Нормированные значения честных критериев (проигрыш в сравнении с оптимальным вариантом решения)				Комплексный критерий		
		по ожиданию общественного транспорта в часы пик	по простоя личного автотранспорта в пробках	по увеличению дополнительного налога на граждан	по улучшению состояния воздушного бассейна	с позиций категории А.	с позиций категории В.	с позиций категории С.
Политики выбора категорий А, В, С	А.	Обычной важности	Наиболее важный	Наиболее важный	Повышенной важности			
	В.	Наиболее важный	Обычной важности	Наиболее важный	Повышенной важности			
	С.	Обычной важности	Обычной важности	Наиболее важный	Повышенной важности			
Варианты решений	П0	1	1	0	1	0,605	0,605	0,479
	П1	0,564	0	0,542	0,370	0,304	0,492	0,441
	П2	0,408	0,331	0,614	0,137	0,420	0,446	0,434
	П3	0,208	0,514	0,410	0,658	0,475	0,373	0,467
	П4	0	0,437	1	0	0,569	0,424	0,566

Из таблицы 6 видно, только для стейкхолдеров категории А оптимальное решение, найденное по их политике выбора, оказалось соответствующим их максимальному предпочтению. Для остальных стейкхолдеров оптимальным, даже с их позиций, является вариант решения, не соответствующий наиболее важному, по их мнению, частному критерию, однако наилучшим образом учитывающий весь комплекс их предпочтений.

Для получения оптимального решения, отвечающего интересам *всех трёх* категорий стейкхолдеров, достаточно нормировать в одинаковых пределах от нуля до единицы комплексные оценки, рассчитанные по их политикам выбора (правые три столбца таблицы 6), и

рассчитать их среднее значение для каждого варианта решения (сумму их значений, умноженных на коэффициент 1/3), поскольку все три категории стейкхолдеров равноправны в принятии решения. Если же по каким-либо основаниям они были признаны неравноправными, например, было бы решено, что мнение работающих важнее мнения неработающих, то это привело бы лишь к тому, что их нормированные оценки были бы сложены умноженными не на 1/3, а соответственно на 0,444, 0,444, 0,111 – универсальные коэффициенты важности из таблицы 2 для такой политики выбора.

Результаты представлены в таблице 7. Из неё видно, что в обоих случаях учёта мнений различных категорий стейкхолдеров оптимальное решение одинаково – проект П1.

Таблица 7 – Окончательный выбор оптимального решения с учётом согласованных интересов всего населения

Варианты решения	Комплексный критерий с учётом интересов владельцев личного транспорта	Комплексный критерий с учётом интересов работающих, не имеющих личного транспорта	Комплексный критерий с учётом интересов не работающих и не имеющих личного транспорта	Комплексный критерий с учетом интересов всех категорий населения	
				Работающие и неработающие граждане равноправны	Мнение работающих граждан важнее
П0	1	1	0,340	0,779	0,926
П1	0	0,513	0,056	0,189	0,234
П2	0,385	0,312	0	0,232	0,310
П3	0,568	0	0,250	0,272	0,280
П4	0,880	0,217	1	0,699	0,599

5 Организационно-методические основы реализации технологии принятия «умных решений» в развитии города

Последовательность действий по переходу в «умном городе» к систематическому принятию «умных решений» базируется на уверенности авторов в том, что использование в развитии городской среды современных и перспективных инновационных технологий предполагает более активное и содержательное, чем в настоящее время, включение в управленческий процесс широких слоёв населения (рисунок 2). Такие стейкхолдеры уже сегодня обладают достаточной функциональной грамотностью для использования различных телекоммуникационных сервисов, охватывающих сферу быта, торговли, информационного поиска, муниципального управления.

Развитие «умного города» должно начинаться с фундаментальной стадии формирования в городе «умной» среды принятия решений. Она включает:

- создание базового программного комплекса оптимизации сложных проектов (БКОП);
- создание базового программного комплекса взаимодействия стейкхолдеров при принятии многокритериальных решений по технологии МУК (БКВС);
- формирование базовых компетенций всех категорий стейкхолдеров, в первую очередь, населения, в технологии коллективного принятия многокритериальных решений.

Решение каждой из проблем жизни и развития города включает две стадии: предварительную и основную.

На предварительной стадии на основе базовых комплексов оптимизации проектов и взаимодействия пользователей БКОП и БКВС автоматизировано производится сборка проблемно-ориентированного программного комплекса оптимизации конкретного проекта (ПКОП). К нему подключаются база данных и расчётные модули частных критериев эффективности, отражающие специфику проекта. Одновременно все категории стейкхолдеров получают информацию о проекте, включая общее описание и инструкцию по использованию ПКОП через Интернет, а также результат анализа, обсуждения и принятия решения по проекту.

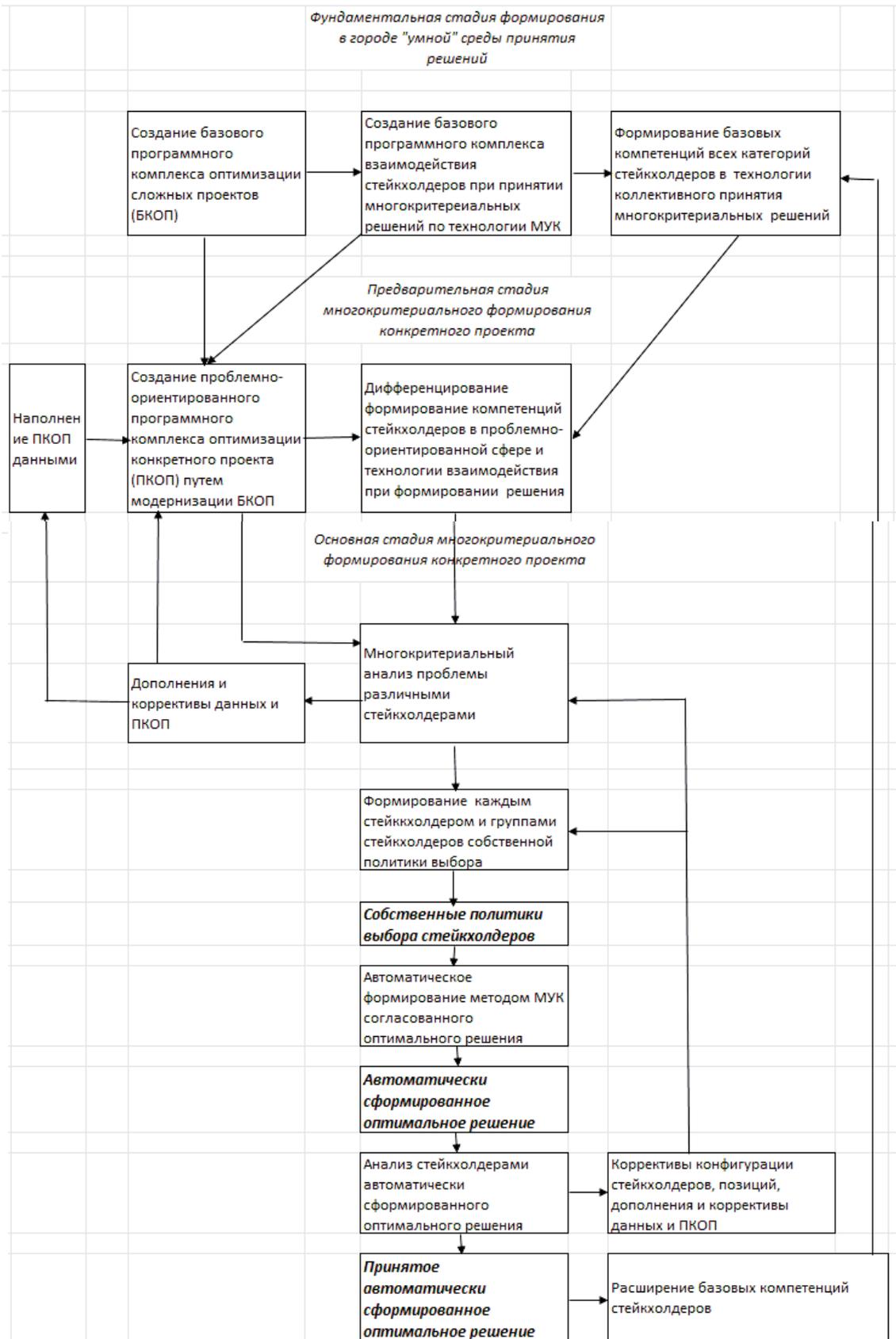


Рисунок 2 – Последовательность действий по принятию «умных решений»

На основной стадии вначале каждый стейкхолдер, используя ПКООП, проводит многокритериальный анализ проблемы при некотором варианте политики выбора, отражающем его интересы, а также, по его мнению, других категорий стейкхолдеров. При этом для каждого варианта политики выбора он автоматически получает решение, которое является оптимальным. При этом решение не является, как в рассмотренном выше примере, одним из изначально предлагаемых решений. В соответствии с общей базовой моделью оно может формироваться как оптимальная комбинация из отдельных изначально предложенных мероприятий проекта. При таком анализе стейкхолдер может выявить недостаточность данных и критериев, вошедших в ПКООП, и через ПКООП внести требования по его дополнениям и корректировке.

В результате каждой категорией стейкхолдеров будет предложена одна или несколько политик выбора, отражающих её интересы. После этого ПКООП на базе всех порожденных этими политиками выбора оптимальных вариантов проекта (их число может быть больше изначально предложенных вариантов за счёт предложенных стейкхолдерами комбинаций) рассчитывает согласованный оптимальный вариант проекта. Его анализ может привести к обоснованным коррективам данных и частных критериев эффективности в ПКООП, после чего окончательно автоматически рассчитывается и затем утверждается согласованное решение.

Заключение

В процедуре принятия решения «споры» между стейкхолдерами, если и возникают, то ведутся только относительно объективных характеристик ПКООП (конкретные данные, показатели и методы их расчёта). Они разрешаются обращением к компетентным специалистам в соответствующей области. Согласование интересов осуществляется МУК через универсальные, не зависящие ни от конкретных лиц и конкретного проекта, коэффициенты сравнительной важности частных критериев эффективности. Тем самым реализуется идея, сформулированная, например, в [6]: «Умный город – это инновационный город, использующий цифровые технологии для повышения уровня жизни, эффективности деятельности и услуг в городе, а также конкурентоспособности при обеспечении удовлетворения потребностей настоящего и будущих поколений в экономических, социальных, культурных и природоохранных аспектах».

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, научный проект № 18-08-00858 А.

Список источников

- [1] **Lombardi, P.** New challenges in the evaluation of Smart Cities / P. Lombardi // Network industries quarterly. – 2011. – V. 13, N 3. – P. 8-10.
- [2] **Ржевский, Г.** Умный город как сложная адаптивная система / Г. Ржевский, С.С. Кожевников, М. Свитек // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, №1(35). – С.7-21. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-7-21.
- [3] **Ritchie, Mary.** Создание городов завтрашнего дня. 2 сентября 2015. – <https://www.iso.org/ru/news/2015/09/Ref1996.html>.
- [4] Национальный проект «Жилье и городская среда», 14 января 2019 г. - <https://strategy24.ru/rf/citybuilding-and-jkh/projects/natsiona-nyu-proyekt-zhil-ye-i-gorodskaya-sreda>.
- [5] **Буракова, А.А.** Концепция «умный город» и цифровизация городского управления: перспективы Екатеринбурга / А.А. Буракова, Г.А. Банных // Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий: материалы V Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 22-23 апреля 2019 г.

- в 2-х т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — Т. 1. — С. 118-123. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/77066/1/978-5-7996-2729-4_1_28.pdf.
- [6] Проект стратегии: Москва «Умный город – 2030» Текст стратегии. 2018. - 111 с. - https://www.mos.ru/upload/alerts/files/3_Tekststrategii.pdf.
- [7] **Boykova, M.** The Smart City Approach as a Response to Emerging Challenges for Urban Development / M. Boykova, I. Pina, M. Salazkin // *Foresight and STI Governance*. - 2016. - V. 10, N 3. - P. 65–75. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.65.75
- [8] **Bartolozzi, M.** A Smart Decision Support System for Smart City / M. Bartolozzi, P. Bellini, P. Nesi, G. Pantaleo, L. Santi // *IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (December 2015, Chengdu, China)*. - IEEE press, 2015 – P. 117-122. - DOI: 10.1109/SmartCity.2015.57.
- [9] Tools to Support Participatory Urban Decision Making. United Nations Center for Human Settlements - UNCHS (Habitat), 2001. 156 p. – [http://www.chs.ubc.ca/archives/files/Tools to support participatory urban decision making.pdf](http://www.chs.ubc.ca/archives/files/Tools%20to%20support%20participatory%20urban%20decision%20making.pdf).
- [10] **Dittrich, Y.** Integrated Framework Report. Number: D3.4 / Y. Dittrich, J. Ddamba, M. Rasmusson // 2014 UrbanData2Decide Urban Europe. 184 p. - <http://www.urbandata2decide.eu/wp-content/uploads/deliverables/UrbanData2Decide-D3.4-Integrated-Framework-Report.pdf>.
- [11] **Ларичев, О.И.** Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2002 – 392 с.
- [12] **Bottero, M.** Decision Support Systems for Evaluating Urban Regeneration / M. Bottero, G. Mondini, A. Oppio // *Procedia: Social & Behavioral sciences*. - 2016. - V. 223. - P. 923-928.
- [13] **Roccasalva, G.** A spatial decision support system for strategic urban redevelopment. The case study of Turin Central Station, Italy / G. Roccasalva, L. Lami, P. Lombardi // *International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment (2007, Glasgow, UK)*.
- [14] **Пиявский, С.А.** Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С.А. Пиявский // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6, №4(22). – С. 414-435. – DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [15] **Пиявский, С.А.** Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений / С.А. Пиявский // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С. 449-468. –DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [16] **Пиявский, С.А.** Формулы для вычисления универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений / С.А. Пиявский // *Онтология проектирования*. – 2019. – Т. 9, №2(32). – С. 282-298 – DOI:10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.

Сведения об авторах



Пиявский Семен Авраамович. Окончил Куйбышевский авиационный институт (1964), аспирантуру Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе (1967). Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, научный руководитель межвузовской научно-методической лаборатории цифровых образовательных технологий развития творческих способностей молодёжи Самарского филиала Московского городского педагогического университета. Почетный работник высшей школы РФ, академик Академии наук о Земле и Академии нелинейных наук. Опубликовал более 450 научных работ в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, математического моделирования, образовательных систем и технологий. Основные научные результаты: онтологии образовательного процесса, методы многокритериальной оптимизации, принятия решений в условиях неопределённости, компьютерная технология технического творчества, теория оптимального управления развитием научных способностей молодёжи и др. AuthorID (РИНЦ): 149149; Author ID (Scopus): 57213252658. spiyav@mail.ru.



Киселев Денис Владимирович, 1976 г. р. Окончил Самарский государственный технический университет по специальности информационно-измерительная техника и технологии и аспирантуру в Самарском государственном архитектурно-строительном университете по научному направлению «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Координатор проектов по направлению умный устойчивый город АНО «Инновационный центр цифроматика». Область научных интересов – информационные технологии в проблематике смарт-сити. Автор пяти статей, участник семи научных конференций в России и за рубежом. AuthorID (РИНЦ): 766681 de.kiselev@gmail.com.

Поступила в редакцию 16.03.2020, после рецензирования 22.05.2020. Принята к публикации 29.05.2020.

Optimal decision making mechanisms in the smart city development management

S.A. Piyavsky¹, D.V. Kiselev²

¹ Samara branch of the State Autonomous educational institution of Moscow "Moscow city university"

² Autonomous Non-profit Organization "Innovation center "Cifronomika"

Abstract

Sustainable development of cities and communities is supposed to be based on the innovative technologies, primarily infocommunications. These technologies should be used in the most efficient way, and the population requires proper "smart" competencies and tools to fully participate in the decision making. The article offers the appropriate methodology and the corresponding mathematical apparatus based on the methods of system analysis, mathematical and computer modeling, multi-criteria optimization for making complex decisions. Organizational and methodological procedure for modeling, optimization and coordination of decisions, the mathematical model for the reconciling stakeholders' interests in making decisions on the urban development, and main design solutions for the city portal implementation that ensures the direct participation of the population in the coordinated decision-making were introduced in this paper. The whole approach is based on the advantages of the universal coefficient method, which allows different stakeholders, regardless of their level of education and training, to express their own preferences in their natural form and immediately see what consequences their decisions lead to. The developed mathematical model is of an optimizing nature and on the basis of the specific measures introduced into it, forms an agreed development plan for the smart city.

Key words: multi-criteria analysis of complex decisions, smart city, mathematical model, optimization, method of universal coefficients, coordination of decisions.

Citation: Piyavsky SA, Kiselev DV. Optimal decision making mechanisms in the smart city development management [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 10(2): 232-245. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-232-245.

Acknowledgment: The work supported by grant of Russian Foundation for basic research (project N 18-08-00858 A).

List of Figures and Tables

Figure 1 - The main blocks of city development management

Figure 2 - Smart Decision Sequence

Table 1 - To the method of analytic hierarchy

Table 2 - Universal coefficients of comparative importance of three particular criteria

Table 3 - Performance indicators of various solutions to the transport problem in the city

Table 4 - Policies for selecting various stakeholder categories

Table 5 - The structure of policies for the selection of various categories of stakeholders

Table 6 - Comprehensive assessment of projects from the perspective of various categories of stakeholders

Table 7 - The final choice of the optimal solution, taking into account the agreed interests of the entire population

References

- [1] Lombardi P. New challenges in the evaluation of Smart Cities. *Network industries quarterly*. 2011; 13(3): 8-10.
- [2] Rzevski G, Kozhevnikov S, Svitek M. Smart City as a Complex Adaptive System [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 7-21. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-7-21.
- [3] Ritchie Mary. Creating tomorrow's urban landscape. September 2, 2015. <https://www.iso.org/news/2015/09/Ref1996.html>.
- [4] National project Housing and Urban Environment, January 14, 2019 [In Russian]. - <https://strategy24.ru/rf/citybuilding-and-jkh/projects/natsiona-nyy-proyekt-zhil-ye-i-gorodskaya-sreda>.
- [5] Burakova, A., Bannykh, G. «Smart City» concept and City Management Digitalization: Perspectives of Yekaterinburg [In Russian]. Strategies for the development of social communities, institutions and territories: materials of the V International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, April 22-23, 2019: in 2 volumes - Yekaterinburg: Ural Publishing House. University, 2019. Vol.1. P.118-123. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/77066/1/978-5-7996-2729-4_1_28.pdf.

- [6] Strategy project: Moscow “Smart City - 2030” [In Russian]. Text of the strategy. 2018. 111 p. https://www.mos.ru/upload/alerts/files/3_Tekststrategii.pdf.
- [7] **Boykova M, Ilina I, Salazkin M.** The Smart City Approach as a Response to Emerging Challenges for Urban Development. *Foresight and STI Governance*. 2016; 10(3): 65–75. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.65.75.
- [8] **Bartolozzi M, Bellini P, Nesi P, Pantaleo G, Santi L.** A Smart Decision Support System for Smart City. *IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (December 2015, Chengdu, China)*. IEEE press, 2015: 117-122. DOI: 10.1109/SmartCity.2015.57.
- [9] Tools to Support Participatory Urban Decision Making. United Nations Center for Human Settlements - UNCHS (Habitat), 2001. 156 p. [http://www.chs.uncb.ca/archives/files/Tools to support participatory urban decision making.pdf](http://www.chs.uncb.ca/archives/files/Tools%20to%20support%20participatory%20urban%20decision%20making.pdf).
- [10] **Dittrich Y, Ddamba J, Rasmusson M.** Integrated Framework Report. Number: D3.4. 2014 UrbanData2Decide Urban Europe. 184 p. - <http://www.urbandata2decide.eu/wp-content/uploads/deliverables/UrbanData2Decide-D3.4-Integrated-Framework-Report.pdf>.
- [11] **Larichev OI.** Theory and methods of decision making [In Russian]. Moscow: Logos; 2002.
- [12] **Bottero M, Mondini G, Oppio A.** Decision Support Systems for Evaluating Urban Regeneration. *Procedia: Social & Behavioral sciences*. 2016; 223: 923-928.
- [13] **Roccasalva G, Lami L, Lombardi P.** A spatial decision support system for strategic urban redevelopment. The case study of Turin Central Station, Italy. *International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment*. (2007, Glasgow, UK).
- [14] **Piyavsky SA.** How do we digitize the concept of «more important» [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [15] **Piyavsky SA.** Method of universal coefficients for the multi-criterial decision making [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 449-468. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [16] **Piyavsky SA.** Forms for calculation of universal coefficients when adopting multiple critical decisions [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 282-298. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.

About the authors

Semen Avraamovich Piyavsky. Graduated from Kuibyshev Aviation Institute in 1964 and the graduate school at the Flight Dynamics Department at the Moscow Aviation Institute Ordzhonikidze in 1967. Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Supervisor of the Inter-University Scientific and Methodological Laboratory of Digital Educational Technologies for the Development of Creative Ability of Youth of the Samara branch of the State Autonomous educational institution of Moscow “Moscow City University”. Honored Worker of Higher School of Russia, Academician of the Academy of Earth Sciences and Academy of Nonlinear Sciences. He has published over 400 scientific papers in field of system analysis, optimization techniques and decision-making, mathematical modeling, education systems and technologies. Basic scientific results: education ontologies, Multiple-optimization techniques, decision making under fatal uncertainty, computer technology of engineering creation, the optimal control theory of young people’ academic abilities development, etc. Author ID (Scopus): 57213252658. AuthorID (RSCI): 149149; spiyav@mail.ru.

Denis Vladimirovich Kiselev (b. 1976) graduated from Samara State Technical University and accomplished postgraduate studies at the Samara State University of Architecture and Civil Engineering in the scientific direction “Mathematical modeling, numerical methods and program complexes”. Coordinator of the smart sustainable city projects, ANO “Innovation center “Cifronomika”. His research interests include multi-criteria evaluation of smart city solutions. Author of five articles, participant of 7 scientific conferences in Russia and abroad. AuthorID (RSCI): 766681 de.kiselev@gmail.com.

Received March 16, 2020. Revised May 22, 2020. Accepted May 29, 2020.

Онтологический Саммит 2020: ГРАФЫ ЗНАНИЙ¹ Ontology Summit 2020: Knowledge Graphs

Июнь 2020



Онтологический Саммит - это ежегодная серия мероприятий, в которых участвуют сообщества онтологов и сообщества, связанные с темой каждого года, выбранной для Саммита. Онтологический Саммит проводится Ontolog² и NIST³, а сама программа организована совместно Ontolog, NIST, NCOR⁴, NCBO⁵, IAOA⁶, NCO_NITRD⁷ (логотипы этих организаций и научных сообществ представлены выше) наряду с другими организациями, которые поддерживают цели и задачи Саммита.

1 Тема Саммита 2020

В последние несколько лет **графы знаний (ГЗ)**, тесно связанные с онтологиями и семантическими сетями, стали важной семантической технологией и областью исследований. Как структурированные представления семантических знаний, которые хранятся в графе, ГЗ представляют собой облегчённые версии семантических сетей, которые масштабируются до массивных наборов данных, таких как вся Всемирная паутина (World Wide Web). Компании, работающие в сфере информационных технологий, приложили немало усилий для разработки ГЗ, и теперь они имеют решающее значение для функций интеллектуальных виртуальных помощников, таких как Siri и Alexa (и, конечно, российская Алиса). Исследовательские

¹ Как и в прошлом году, редакция журнала решила не дожидаться финальной версии очередного Коммюнике Онтологического Саммита за 2020 год, который обсуждается с осени 2019 года. Читателю предлагается ознакомиться лишь с общей концепцией исследуемой тематики. - <https://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2020>. Редакция планирует разместить перевод Коммюнике Онтологического Саммита за 2020 год после его принятия.

² ONTOLOG («Форум онтологов») - это открытое международное виртуальное сообщество практиков, занимающихся продвижением в области онтологии, онтологической инженерии и семантических технологий, которое выступает за их внедрение в основные приложения и международные стандарты. - <https://ontologforum.org/index.php/WikiHomePage>.

³ Национальный институт стандартов и технологий США – NIST (US National Institute of Standards and Technology) - <https://www.nist.gov/>.

⁴ Национальный центр онтологических исследований – NCOR (National Center for Ontological Research) - <https://ubwp.buffalo.edu/ncor/>.

⁵ Национальный центр биомедицинской онтологии – NCBO (National Center for Biomedical Ontology) - <https://www.bioontology.org/>.

⁶ Международная ассоциация по Онтологиям и ее приложениям – IAOA (The International Association for Ontology and its Applications) - <https://iaoa.org/>.

⁷ Национальное координационное бюро для Программы исследования и развития сетевых и информационных технологий США - NCO NITRD (The (US) National Coordination Office (NCO) for the Networking and Information Technology Research and Development (NITRD) Program). - <https://www.nitrd.gov/>.

направления, в которых важны ГЗ, - это онтологии, большие данные, связанные данные, открытая сеть знаний, искусственный интеллект, глубокое обучение и многие другие.

Онтологический Саммит начал свою работу с вводной сессии осенью 2019 года, за ней последовала основная сессия в 2020 году, которую планируется завершить в июле 2020 года. Каждый семинар продолжался около одного часа и состоял из двух частей: выступление докладчика и дискуссия участников. Участники семинара не только могли задавать вопросы, но и имели возможность внести свой вклад в разработку обсуждаемой темы.

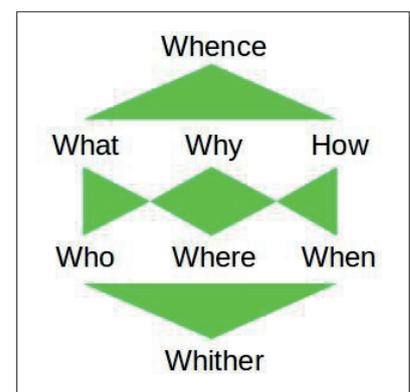
Предметом Саммита являлось изучение ГЗ с разных точек зрения - от низкоуровневых методов представления и хранения до высокоуровневой семантики, от поставщиков до конечных пользователей. Участники Саммита стремились осветить и ответить на следующие вопросы (логотип Саммита, представленный на рисунке, отражает круг обсуждаемых вопросов):

What

Что

Обзор и предыстория сессий саммита.

- ГЗ - это средство реализации преимуществ онтологии, онтологического инжиниринга.
- ГЗ объединяют существующие идеи в пакет, который часто работает на практике, чтобы приносить пользу крупным организациям.
- ГЗ предоставляют новую корневую метафору и мотивацию, которые стимулируют интерес к разработке онтологий.
- ГЗ стимулируют инвестиции в развитие, интеграцию, взаимодействие и организацию отдельных предприятий, объединений предприятий и целых отраслей.
- ГЗ могут быть удобными инструментами и методами искусственного интеллекта и семантических технологий.



Whence

Откуда

- Историческая перспектива.
- Знание как открытое, свободное, нечёткое, возникающее.
- Аналогии и метафоры.

Who, Where, When

Кто, где, когда

- Особенности использования для отдельных предприятий и отраслей.

Why

Почему

- Общее представление ГЗ, в отличие от частных случаев использования.
- Реализация полного цикла от исходных данных до практических результатов.
- Оценка и управление качеством и эффективностью.

How

Как

- Разработка технологий на основе графических методах.

- Широко распространенная культура на основе графов, включающая конференции и обучение.
- Культура включает в себя такие аспекты, как «анализ данных» и «онтологическое мышление».
- Диалог для продвижения взаимопонимания.

Whither

Куда

- Новые стандарты.
- Новые постановки задач исследования.
- Размышления о будущих направлениях.

2 Цель Саммита 2020

В рамках продвижения онтологии целью Саммита является вывод онтологической науки и инжиниринга в передовое направление за счёт стремления к обобщениям, которые могут облегчить обсуждение и обмен знаниями среди заинтересованных сторон. Выводы должны быть подкреплены примерами из различных областей, а результаты отражены в форме *Коммюнике Саммита 2020 года* с расширенным вспомогательным материалом и размещены в Интернете.

3 Темы предыдущих Саммитов

- OntologySummit2019 - «*Explanations*» Communiqué
- OntologySummit2018 - «*Contexts in Context*» Communiqué
- OntologySummit2017 - «*AI, Learning, Reasoning, and Ontologies*» Communiqué (public facing) Ontology Summit 2017 Website
- OntologySummit2016 - «*Framing the Conversation: Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems*» Communiqué
- OntologySummit2015 - «*Internet of Things: Toward Smart Networked Systems and Societies*» Communiqué (public facing) Ontology Summit 2015 Website
- OntologySummit2014 - «*Big Data and Semantic Web Meet Applied Ontology*» Communiqué (public facing) Ontology Summit 2014 Website
- OntologySummit2013 - «*Ontology Evaluation Across the Ontology Lifecycle*» Communiqué (public facing) Ontology Summit 2013 Website
- OntologySummit2012 - «*Ontology for Big Systems*» Communiqué (public facing) Ontology Summit 2012 Website
- OntologySummit2011 - «*Making the Case for Ontology*» Communiqué
- OntologySummit2010 - «*Creating the Ontologists of the Future*» Communiqué
- OntologySummit2009 - «*Toward Ontology-based Standards*» Communiqué
- OntologySummit2008 - «*Toward An Open Ontology Repository*» Communiqué
- OntologySummit2007 - «*Ontology, Taxonomy, Folksonomy: Understanding the Distinctions*» Communiqué
- UpperOntologySummit (2006) - the «*Upper Ontology Summit*» UosJointCommuniqué

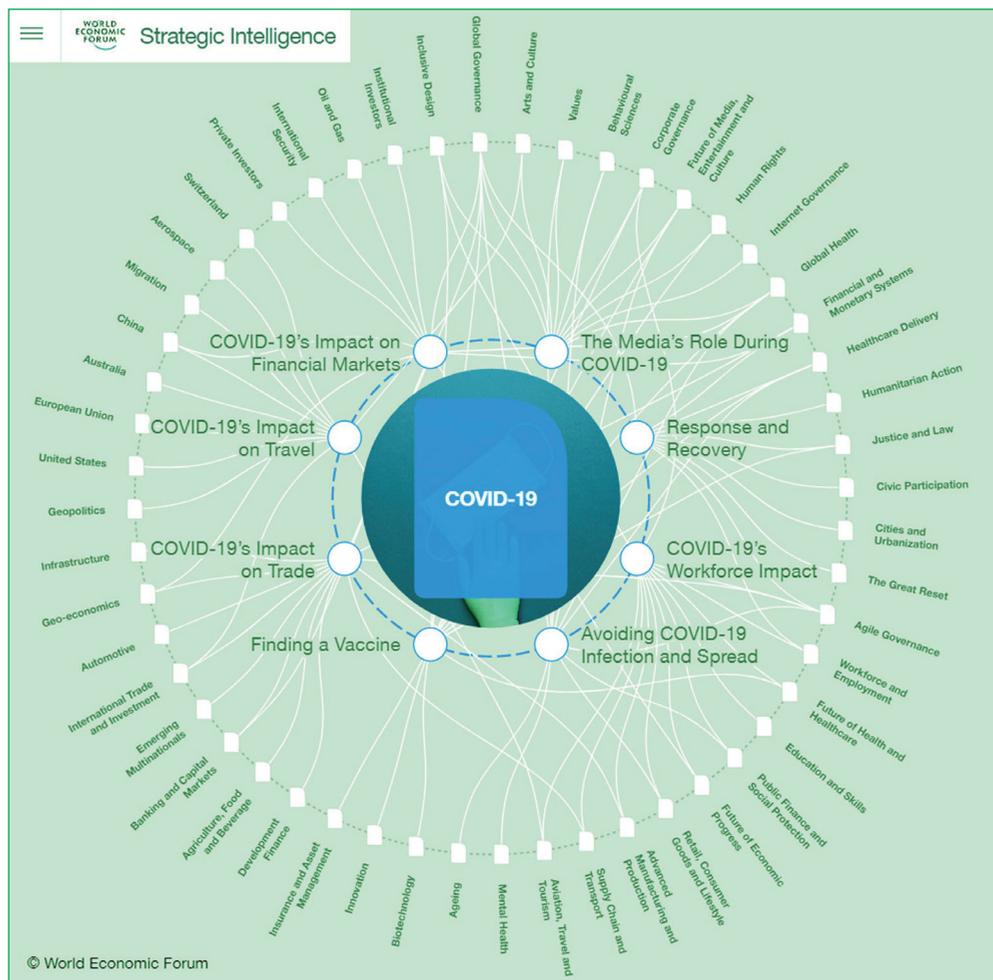
Пандемия, её онтология формируют новую повестку дня Вызов цивилизации - The Great Reset

«Великая перезагрузка» - новая инициатива Всемирного экономического форума и Принца Уэльского, призванная помочь лицам, принимающим решения, на пути к устойчивому миру за пределами коронавируса. Экономические последствия COVID-19 доминируют в восприятии риска, но есть возможность изменить мировую экономику.

«Чтобы обеспечить наше будущее и процветать, нам необходимо развивать нашу экономическую модель и ставить людей и планету в центр создания глобальной ценности. Есть один важный урок, который можно извлечь из этого кризиса, это то, что мы должны поставить природу в центр нашей работы» - Принц Уэльский.

«Великая перезагрузка - это долгожданное признание того, что эта человеческая трагедия должна стать сигналом тревоги. Мы должны построить равные, инклюзивные и устойчивые экономики и общества, которые устойчивы перед лицом пандемий, изменения климата и других глобальных изменений» - Антониу Гутерриш, Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций.

«COVID-19 ускорил переход в эпоху четвертой промышленной революции. Мы должны сделать так, чтобы новые технологии в цифровом, биологическом и физическом мире оставались ориентированными на человека и служили обществу в целом» - Клаус Шваб, исполнительный председатель Всемирного экономического форума.



<https://www.weforum.org/great-reset/about>

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