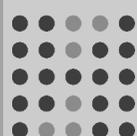


ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Передовые
инженерные
школы



Vol **12**
N **4**
2022

Scientific journal

Volume 12

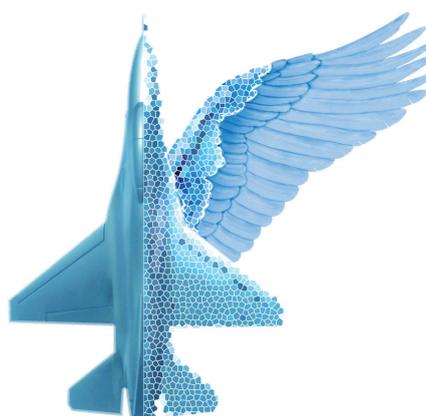
№ 4

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 12

№ 4



Editorial Board - Редакционная коллегия

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

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

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

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

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

The journal has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of JOURNAL can be found in the EBSCOhost™ databases. The journal has been successfully evaluated in the evaluation procedure for the **ICI Journals Master List 2014-2019** and journal received the ICV (Index Copernicus Value).

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

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук (Письмо Департамента аттестации научных и научно-педагогических работников Минобрнауки РФ от 01.12.2015 № 13-6518) по научным специальностям 05.13.17 (с 26.03.19); 1.2.2, 2.3.1, 2.5.13, 2.5.15 (с 1.02.2022).

Журнал включен в список журналов, входящих в базу данных **Russian Science Citation Index (RSCI)** на платформе **Web of Science**. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **1,00** (2013), **0,92** (2014), **1,30** (2015), **1,08** (2016), **1,00** (2017), **1,18** (2018), **0,85** (2019), **1,08** (2020), **1,00** (2021).

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 Армагеддона: поиск выхода 425-429

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

И.А. Суров 430-453

Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования

А.М. Фаянс 454-469

Построение онтологии фундаментальных понятий на основе трансдисциплинарного подхода

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.В. Соловов, А.А. Меньшикова 470-480

Трансформация онтологии образования: от классно-урочной системы к смарт-инновациям

П.В. Балакшин, Е.А. Машина 481-494

Формализация неявных знаний на основе образовательных компетенций и фоновых знаний

В.А. Филимонов 495-505

Проект краткого курса «Избранные вопросы инженерии»

А.Ю. Плешкова 506-517

Онтологии в управлении образовательным процессом

**И.Н. Глухих, Т.Г. Шевелев, Р.А. Панов, А.М. Изотов, М.О. Писарев,
Д.А. Лисс, В.С. Быков, А.В. Абрамов, К.З. Нониева** 518-531

Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей

**И.С. Ткаченко, Е.И. Куркин, О.Е. Лукьянов, Е.А. Кишов,
Х. Галинсога-Самора, В.Г. Смелов, В.О. Чертыковцева** 532-546

Проектирование силовых конструкций с использованием топологической оптимизации и технологии аддитивного производства

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.В. Антонов, К.А. Конев 547-561

Усовершенствование ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для предприятий

Краткие итоги 2022 года 562-563

Рекомендованные издания 2022 564

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

Правила подготовки рукописей статей размещены на сайте журнала «Онтология проектирования»:

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

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



Контакты учредителей

ФИЦ Самарский научный центр РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., 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 01.12.2022. Тираж 200 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

Ontology of Armageddon: Searching for a way out 425-429

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

I.A. Surov 430-453
Life cycle: semantic matrix of process modeling

A.M. Fayans 454-469
Building an ontology of fundamental concepts based on a transdisciplinary approach

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

A.V. Solovov, A.A. Menshikova 470-480
Transformation of the ontology of education: from the classroom lesson system to smart innovations

P.V. Balakshin, E.A. Mashina 481-494
Formalization of implicit knowledge based on educational competencies and background knowledge

V.A. Filimonov 495-505
A blueprint for the short course «Selected Engineering Issues»

A.Yu. Pleshkova 506-517
Ontologies in educational process management

**I.N. Glukhikh, T.G. Shevelev, R.A. Panov, A.M. Izotov, M.O. Pisarev,
D.A. Liss, V.S. Bykov, A.V. Abramov, K.Z. Nonieva** 518-531
Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models

**I.S. Tkachenko, E.I. Kurkin, O.E. Lukyanov, E.A. Kishov,
J. Galinzoga-Zamora, V.G. Smelov, V.O. Chertykovtseva** 532-546
Load-bearing structures design using topological optimization and additive manufacturing technologies

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

V.V. Antonov, K.A. Konev 547-561
Improving the situational methodology for developing decision support systems for enterprises

Brief summary of 2022 562-563

Recommended Books 2022 564

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

The current version of the Rules for the preparation of manuscripts of articles for the journal «Ontology of Designing» is on the journal website:



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

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

Contacts of the Founders

Samara Scientific Center of the RAS: 61, Sadovaya st., Samara, 443020, Russia. Tel.: +7 (846) 333 27 70, S.V. Smirnov, smirnov@iccs.ru
Samara University: 34, Moskovskoye shosse, bldg. 10, Samara, 443086, Russia. Tel.: +7 (846) 267 46 47, N.M. Borgest, borgest@yandex.ru
New Engineering LLC (publishing house): 145, Frunze st., Samara, 443010, Russia. Tel.: +7 (846) 332 67 84, fax: +7 (846) 332 67 81



ОТ РЕДАКЦИИ

Онтология Армагеддона: поиск выхода Ontology of Armageddon: Searching for a way out

«Кто ведёт в плен, тот сам пойдёт в плен; кто мечом убивает, тому самому надлежит быть убитым мечом»
*Откровение Иоанна Богослова*¹

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

Тема, затронутая в предыдущих обращениях^{2,3}, продолжает волновать, в том числе тех, кто не желает покидать даже мысленно своё любимое занятие наукой, абстрагируясь от происходящих «за окном» событий.

Откровение, которое в библейской мифологии трактовалось как некое предсказание не столь радужного будущего (при всём пессимизме атеистов по отношению к религиозным догмам), местами и фрагментарно начинает проявлять своё реальное воплощение. Ровно 60 лет назад в период Карибского кризиса в октябре-ноябре 1962⁴ года мир уже был близок к запуску процедуры самоуничтожения⁵. Что-то подобное происходит и сейчас вследствие обострения конкуренции за истощаемые земные и околоземные ресурсы.

Упомянутый в «Апокалипсисе» Армагеддон - последняя битва сил добра с силами зла - знаменует собой «конец света». В той трактовке Армагеддон⁶ - это лишь место, где происходит битва, но в современном толковании это глобальная катастрофа, грозящая уничтожению цивилизации. Ключевыми сущностями в Армагеддоне выступают *Добро* и *Зло*, важными атрибутами которых являются их *силы*. Выясняемые между сущностями отношения происходят в саморазрушительной форме, когда противоборство сил ликвидирует сами сущности. На самом деле можно предположить, что в этой схватке победителем выходит Зло, в основе которого заключается всё противостоящее Добру: созиданию, творчеству, справедливости, гармонии, любви. Сам процесс апокалиптической битвы инициируется Злом, нацеленным на разрушение, на гибель, на уничтожение.

В онтологическом смысле Добро и Зло лишь в пределе могут быть сущностями на непрерывной шкале добра и зла. Добро и Зло - это условная дихотомия нормативно-оценочных категорий, означающих в обобщённой форме, с одной стороны, должное и нравственно-



The Apocalypse
1920's, Sidney Herbert Sime (1867-1941)
Pen and Black ink and Grey wash

¹ Откровение Иоанна Богослова (датируется концом I века н.э.) — название последней книги Нового Завета, часто упоминаемой как «Апокалипсис» (от др.-греч. ἀποκάλυψις — раскрытие, откровение).

² *От редакции*. Война и мир: онтологические основания. *Онтология проектирования*. Том 12, №1(43). С.5-10.

³ *От редакции*. Игры терминов и ловушки Фукидида. *Онтология проектирования*. Том 12, №3(45). С.273-277.

⁴ Карибский кризис 1962 года кратко: причины, суть. <https://proslo.ru/karibskij-krizis-1962-goda-kratko-prichiny-sut/>.

⁵ В те уже далёкие 60-е политики смогли пойти на взаимные уступки, тем самым разрешив назревший конфликт.

⁶ «Армагеддон» считается греческим производным от древнееврейского названия «гора Мегиддо», по названию древнего города Мегиддон на севере Израиля. - Армагеддон // Православная энциклопедия. М., 2000. 752 с.

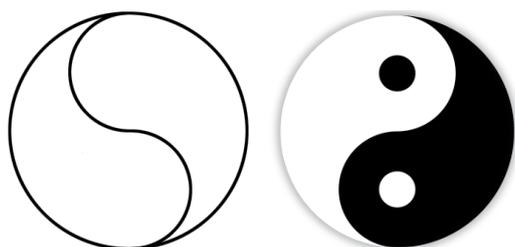
положительное, а с противоположной — нравственно-отрицательное и осуждаемое⁷. При этом термин «Империя Зла» и подобные им ярлыки – это всего лишь приём, который используют конфликтующие (противоборствующие, антагонистические) стороны.

Темы «шкалы добра и зла» в рамках морали гуманизма обсуждаются с разных позиций: философских⁷, религиозных⁸, социологических⁹, психологических¹⁰, культурологических¹¹, бытовых¹² и даже детских¹³. Социологи пытаются оценить соотношение «добрых» и «злых» людей в обществе (у них получается в диапазоне 1.3-2.0 в пользу «добрых»)⁹. Увлечённые нумерологией и магией чисел утверждают о правоте «золотого сечения» при оценке соотношения некоего обобщённого добра и зла, т.е. соотношение 1.63 или в отношении 62% и 38% в пользу добра¹⁴. Эти в большинстве не совсем научные утверждения по существу совпадают с социологическими оценками, что говорит о побеждающей роли добрых созидательных дел над разрушительными силами зла, о том, что эволюционные законы природы работают. Иначе мир бы не развивался.

Но эти абстракции о Добре и Зле в онтологическом смысле мало имеют отношения к реальной жизни. Добрые и злые силы, намерения, поступки – это переменные, это атрибуты, это свойства, проявляющиеся у реальных сущностей, которые представляют собой холоны, т.е. одновременно являются и самостоятельным целым, и частью чего-то ещё.

Добро и зло *присутствуют одновременно* в холонах-сущностях, но в зависимости от внешних и внутренних обстоятельств и установок проявляют себя в различных формах, тем самым характеризую сущность в конкретной ситуации. Нет плохих и хороших, добрых и злых людей (народов, стран), есть плохие и хорошие поступки конкретных акторов.

Пример наглядного подтверждения целостности этих свойств в сущностях можно найти,



Великое Разделение
(Великий предел)

Приобретение Великим
Разделением
противоположных
свойств «Инь» и «Ян»

обратившись к китайской философии, в частности к Инь и Ян¹⁵. Инь и Ян характеризуют этап исходного космогенеза и рассматриваются как концепция, описывающая *противоположные, но взаимосвязанные силы*. В процессе развития китайской философии Ян и Инь символизировали взаимодействие крайних противоположностей: света и тьмы, дня и ночи, солнца и луны, неба и земли, жары и холода, положительного и отрицательного и т.д.

Диаграмма с чёрно-белыми «рыбками» (см. рисунок) символизирует Великий предел (разделение),

который характеризует предельное состояние бытия, наибольшее разделение на прошлое и будущее, начало времени и всех начал, выделение двух сил: Инь и Ян. Условное равенство этих двух противоположностей в случае с Добром и Злом соответствует базовому философскому закону диалектики Гегеля о единстве и борьбе противоположностей, который заклю-

⁷ Дробницкий О.Г. Добро и зло // Большая советская энциклопедия: В 30 т. — М.: «Советская энциклопедия», 1969—1978.

⁸ Рав Захария Матильяу. Спор мировоззрений: Определение цели и предназначения мира 25.05.2016. Из журнала Мир Топры. https://toldot.com/articles/articles_28542.html.

⁹ Добро и зло: социологические аспекты. 05.09.2013. https://www.startmarketing.ru/news/144#_ftn1.

¹⁰ Попов Л.М., Голубева О.Ю., Устин П.Н. Добро и зло в этической психологии личности. М.: Институт психологии Российской академии наук. 2008. 320 с.

¹¹ Флиер А.Я. Добро и зло в культурно-историческом понимании // Горизонты гуманитарного знания. 2015. №3. С.17-35. <https://cyberleninka.ru/article/n/dobro-i-zlo-v-kulturno-istoricheskom-ponimani-i>.

¹² Существует ли шкала оценки, что на Земле является добром, а что - злом? <http://www.bolshoyvopros.ru/questions/557929-suschestvuet-li-shkala-ocenki-chto-na-zemle-javljaetsja-dobrom-a-chto-zlom.html>.

¹³ Маяковский В. Что такое хорошо и что такое плохо? / худ. Н. Денисовский. Л.: Прибой. 1925. 18 с.

¹⁴ Кобелев Валерий. Золотое сечение. Что это? 2009. <https://proza.ru/2009/03/08/962>. «Сущность пропорции золотого сечения составляет сто частей, из которых тридцать восемь занимает зло и шестьдесят два - добро».

¹⁵ Инь и ян. https://ru.wikipedia.org/wiki/Инь_и_ян.

чается в том, что всё сущее состоит из противоположных начал, которые, будучи единными по своей природе, находятся в борьбе и противоречат друг другу.

Поэтому онтология Армагеддона – это *онтология борьбы* двух антагонистических сущностей, пример которой был представлен в редакционной статье² как *онтология войны и мира* (см. рисунок там же на с.10). Здесь война и мир – это лишь крайние возможные исходы этой борьбы. В этой онтологии Армагеддон венчает печальный конец этой борьбы и конец существования самих сущностей и онтологии, описывающей их...

Автономное оружие может приблизить Армагеддон

Какими качествами разработчики современных средств вооружения наделяют свои создаваемые сущности-артефакты? Что они могут, на какой стороне добра и зла они способны участвовать в жизни нашей цивилизации, в какой степени может измениться соотношение этих свойств в общем цивилизационном процессе, приблизят ли они Армагеддон?

Ассоциация по стандартизации Института инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE SA, Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association*) 3 ноября 2022 года разместила на сайте четыре постановочных вопроса с пояснениями и призывом помочь *IEEE SA* решить проблемы, связанные с разработкой и применением автономных систем вооружения (АСВ)¹⁶.

Первый вопрос: Как можно говорить об автономном оружии?¹⁷ Летальные АСВ звучат устрашающе. Системы вооружения могут быть построены с рядом автономных возможностей. Это могут быть самоуправляемые танки, дроны-разведчики с распознаванием изображений и искусственным интеллектом (ИИ), беспилотные подводные аппараты и т.п. На сегодняшний день нет общих правил, касающихся АСВ. Чтобы внести ясность, Ассоциация стандартов *IEEE* в 2020 году создала группу экспертов для рассмотрения этических и технических проблем, связанных с воплощением принципов АСВ на практике. Основное внимание уделялось смертоносным АСВ, тем не менее определить, является ли АСВ смертельной, оказывается сложнее, чем можно было бы ожидать. Например, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), который ведёт автономное наблюдение и несёт дистанционно управляемое оружие, использует ИИ для навигации и идентификации целей, а человек принимает окончательное решение о том, начинать атаку или нет. Т.к. оружие и автономные возможности находятся в одной системе, то это можно считать смертоносной АСВ. Человек может быть не в состоянии контролировать все данные, которые БПЛА собирает в режиме реального времени, чтобы идентифицировать и проверить цель. Даже если человек принимает решение начать атаку на цель, которую обнаружила АСВ, неясно, насколько «значимым контролем» человек действительно обладает. **Проблема определений** возникает, когда политики в ООН обсуждают АСВ. У разработчиков ИИ *есть разные определения* для часто используемых понятий, включая «предвзятость», «прозрачность», «доверие», «автономию» и «ИИ». Во многих случаях окончательный вопрос может заключаться не в том, можно ли установить технические определения для этих терминов, а как относиться к тому факту, что никогда не может быть точных определений и согласия по этим терминам? Самый важный вопрос заключается в том, *должны ли мы создавать*, разворачивать и использовать АСВ?

Второй вопрос: Как можно убедиться, что АСВ используется ответственно? Технические проблемы ИИ усугубляются в АСВ¹⁸.

Международные дискуссии об АСВ часто фокусируются на фундаментальном вопросе: законно ли, чтобы машина принимала решение лишить человека жизни? Но есть ещё один фундаментальный вопрос: можно ли доверять автоматизированной системе вооружений, чтобы она делала то, что от неё ожидается?

Третий вопрос: Что означает «человеческий контроль» над автономными системами?¹⁹

Два самолета *Boeing 737 Max* разбились в 2018 и 2019 годах из-за отказов датчиков, которые привели к сбоям в работе автопилота, которые два пилота не смогли устранить. В 2018 году автономный автомобиль *Uber* сбил пешехода и убил его, хотя человек, находившийся в машине, должен был следить за системой. Эти примеры подчёркивают проблемы «человеческого контроля» над автономной системой.

«Человеческий контроль» трудно определить, при этом в международных дебатах используется множество подобных выражений, например, «значимый человеческий контроль», «человеческая ответственность» и

¹⁶ Autonomous Weapons Challenges. Help IEEE SA address issues surrounding autonomous weapons. 03 NOV 2022. <https://spectrum.ieee.org/collections/autonomous-weapons-challenges/>.

¹⁷ *Ariel Conn*. How Can We Talk About Autonomous Weapons? Experts convened by the IEEE Standards Association seek your help. 03 Nov 2022. <https://spectrum.ieee.org/autonomous-weapons-challenges>.

¹⁸ *Ariel Conn*. How Can We Make Sure Autonomous Weapons Are Used Responsibly? Technical challenges of AI are exacerbated in autonomous weapons systems. 03 Nov 2022. <https://spectrum.ieee.org/autonomous-weapons-trust>.

¹⁹ *Ariel Conn*. What Does “Human Control” Over Autonomous Systems Mean? The challenge of human control over autonomous weapons. 03 Nov 2022. <https://spectrum.ieee.org/autonomous-weapons-control>.

«надлежащее человеческое суждение». Но независимо от используемых слов назначение человеку задачи наблюдения за АСВ может не помешать системе делать то, что она не должна делать, и неясно, «кто» виноват.

Ответственность и подотчётность. АСВ обрабатывают данные со скоростью, намного превышающей когнитивные способности человека. В будущем один солдат должен контролировать рой вооружённых БПЛА. Каждый БПЛА может обнаруживать и обрабатывать данные в режиме реального времени. Если человек не может справиться с одной автономной системой, он не сможет справиться с данными, поступающими от роя. Потребуются дополнительные автономные системы для фильтрации и упаковки данных, что создаёт ещё больше потенциальных точек отказа.

Человеко-машинные команды. ИИ часто опирается на машинное обучение, которое может превратить системы на основе ИИ в «чёрные ящики», когда ИИ предпринимает неожиданные действия, оставляя разработчиков и пользователей в неведении относительно того, почему он сделал то, что сделал. Остаётся неясным, как люди, работающие с АСВ, будут реагировать на своих партнёров-машин или какой тип обучения потребуется, чтобы человек понял возможности и ограничения системы.

Четвёртый вопрос: Может ли автономное оружие быть совместимым с международным гуманитарным правом? Понимание АСВ в контексте законов войны²⁰.

Международное гуманитарное право (МГП) — это свод законов, регулирующих международные военные конфликты и устанавливающих правила применения оружия. Основы МГП были разработаны до того, как стали широко использоваться персональные компьютеры, спутники, Интернет и социальные сети. Существующие законы не охватывают множество проблем, возникающих в связи с новейшими и появляющимися технологиями. Этические принципы разработаны, чтобы помочь устранить разрыв между меняющимися культурными нормами и технологиями и установленными законами, но такие принципы расплывчаты и их трудно воплотить в юридический кодекс. Например, даже если все согласятся с этическим принципом, таким как минимизация предвзятости в автономной системе, как это будет запрограммировано?

МГП, новые технологии и АСВ. Большая часть разногласий связана с неопределённостью, связанной с технологией. Остаётся неизвестным, в какой степени ИИ и автономия изменят ведение войны. Даже когда МГП уже существует, неясно, сможет ли АСВ им следовать. Например, можно ли научить машину надёжно распознавать: солдат ранен или сдаётся; разницу между гражданским лицом и бойцом, одетым в гражданское?

АСВ может подвергаться враждебным манипуляциям, которые включают обман системы, заставляющий её неправильно понимать ситуацию. Могут ли алгоритмы АСВ получить подготовку и контроль, чтобы гарантировать, что они не будут нарушать международные законы?

Для обеспечения безопасности и надёжности АСВ необходимы новые стандарты испытания, оценки и проверки. А если АСВ сработает неадекватно и причинит непреднамеренный вред, будет ли понятно, кто виноват? Чтобы гарантировать, что законы, политика и этика хорошо адаптированы к новым технологиям АСВ, а также чтобы АСВ лучше соблюдала международные законы и нормы, директивным органам необходимо лучше понимать технические возможности и ограничения оружия, и как оружие может быть использовано.

Ответственный ИИ отодвинет Армагеддон

Опасения при создании АСВ могут быть решены созданием ответственного ИИ, в пользу за которым ринулись заинтересованные страны.

Всемирный экономический форум запустил инициативу *Global AI Action Alliance (GAIA)*²¹ по ускорению внедрения инклюзивного, прозрачного и надёжного ИИ²². Потенциал ИИ становится всё более очевидным, как становятся очевидными и риски, связанные с небезопасными или неэтичными системами с ИИ. Упомянутый Альянс объединяет более 100 компаний, правительств, организаций и академических учреждений, чтобы ускорить внедрение ответственного ИИ в глобальных общественных интересах.

Проект Билля о правах ИИ - автоматизированных систем для американского народа²³ - раскрывает его применение и принципы, даёт ряд определений (например, что есть «алгоритмическая дискриминация», «справедливость» и др.) и примеры таких систем.

²⁰ *Ariel Conn.* Can Autonomous Weapons Be Compatible With International Humanitarian Law? Understanding autonomous weapons systems within the context of the laws of war. 03 Nov 2022. <https://spectrum.ieee.org/autonomous-weapons-law>.

²¹ Global AI Action Alliance. <https://www.weforum.org/projects/global-ai-action-alliance>.

²² Our alliance is accelerating responsible AI. https://www.weforum.org/impact/a-new-alliance-is-ensuring-responsible-global-ai/?utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=2786467_Agenda_weekly-21October2022&utm_term=&emailType=Agenda%20Weekly.

²³ Blueprint for an AI Bill of Rights. Making automated systems work for the American people. October 2022. <https://www.whitehouse.gov/ostp/ai-bill-of-rights/>.

Организованное в конце ноября Сбербанком очередное путешествие в мир ИИ²⁴ посетил Президент РФ В.В. Путин. По мнению журналиста, Президент делает ставку на ИИ²⁵: «Внедрение ИИ, как и успешное руководство регионом, отраслью, компанией, требует использования модели управления на основе данных... Но не зря говорят: если оцифровать хаос, то получится всего лишь цифровой хаос! — заявил В. Путин.— Поэтому, занимаясь цифровизацией и применением технологий ИИ, нужно сначала навести порядок, как говорится, в собственном хозяйстве». **Без онтологии не обойтись – добавили бы мы!**

Образование не допустит Армагеддон

Как и прежде, выход видится в образовании. Не в обучении, в т.ч. и машинном, не в оказании «образовательных» услуг, а именно в образовании: *воспитании* и *обучении*, воспитании сознательных и ответственных граждан. Лишь образование, включающее в себя воспитание и обучение, позволит уменьшить риск возникновения конфликтных ситуаций, не даст возможности проявиться злонамеренным силам, в т.ч. и при создании систем с ИИ.

Острота рассматриваемой проблемы проявилась и в активности наших авторов, которые в этом номере представили четыре работы по онтологии образования, сделав упор на формализацию в большей части обучения.

Завершая *черно-белую серию номеров*, начатую в этом году, мы констатируем, что Зло, как антипод Добра, есть непрменный атрибут человека и свойство Природы. При этом мы искренне надеемся на смену разрушительной парадигмы. Занимаясь приятным для нас делом (бескорыстным и созидательным) по поиску, отбору и распространению нового знания, мы стремимся отодвинуть возможный природный или атомный Армагеддон. Мы оптимисты, поэтому с удивительным для самих себя добрым взором смотрим на наше будущее. Задача набравших позитивный опыт и знания - подготовить тех, кто способен далее творить Добро.

В отличие от апокалиптических оценок и цветовых гамм²⁶ загадочной обложки журнала *The Economist* на 2023 год (см. рисунок), наши цвета, настроение и помыслы чисты как голубое небо и бесконечный космос, в которых парят наши мысли и создаваемые артефакты. Нашим читателям мы предлагаем оценить варианты разрабатываемой новой обложки нашего журнала, который, мы надеемся, будет по-прежнему цветным и радужным в 2023 и далее!



Мир в 2023²⁷



ОП 2023 - 1



ОП 2023 - 2



ОП 2023 - 3

Наш журнал - место для научных дискуссий. Мы ждём новых интересных результатов исследований, критического анализа и развития уже опубликованных работ.

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

²⁴ «Главная технология XXI века»: как прошла международная конференция *AI Journey 2022*.

<https://sber.pro/publication/glavnaya-tehnologiya-xxi-veka-kak-proshla-mezhdunarodnaya-konferenciya-ai-journey-2022>.

²⁵ Колесников Андрей. Искусственный требует жертв. Зачем Владимир Путин приехал на конференцию «Сбера». «Коммерсантъ» №219 от 25.11.2022, с.1. <https://www.kommersant.ru/doc/5682249?tg>.

²⁶ Мирзаян Г. Часы Судного дня: чем грозит России новая обложка журнала *The Economist*. 21.11.2022, <https://life.ru/p/1539918>.

²⁷ *The World Ahead 2023*. Future-gazing analysis, predictions and speculation. <https://www.economist.com/the-world-ahead-2023>.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453



Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования

© 2022, И.А. Суров

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Ускорение социально-технологической динамики увеличивает число и сложность задач процессного моделирования. Освоение соответствующих навыков мышления становится массовой необходимостью. В статье представлен метод схематизации процессов, позволяющий систематизировать такое мышление на основе *жизненного цикла*. Любой процесс представляется последовательностью этапов *восприятие, анализ, проектирование, действие, согласование и оценка*. Эта последовательность формализована в виде круговой траектории на фазовой плоскости, декартовыми осями которой являются факторы *сила* и *активность* классической семантики. В результате схема получает простое математическое выражение и сопрягается со стандартными методами семантических измерений. Экспериментально представленная структура выявлена в векторной модели английского языка *word2vec*, что дополнительно связывает её с алгоритмами машинного обучения и искусственного интеллекта. Разработанная модель представляет собой общую онтологию процессов в Природе, используемую в естественном мышлении как стереотип построения причинно-следственных моделей событий. Полученный результат открывает возможности для развития методов процессного и причинно-смыслового моделирования в научно-технических и повседневных целях.

Ключевые слова: процесс, прогнозирование, причинность, смысл, онтология, субъектность.

Цитирование: Суров И.А. Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.430-453. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-71-00136).

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Проектирование и управление сложными техническими, социальными, информационными системами является важнейшим вызовом современности [1]. Необходимой частью этой практики является процессное моделирование, позволяющее предвидеть собственное развитие таких систем, а также их отклик на внешние воздействия. В недавнем прошлом результаты такого моделирования могли оставаться в силе долгое время, и небольшое число прогнозных задач позволяло обойтись малым количеством специалистов. Современный темп научно-технической и социальной динамики многократно повысил число и сложность таких задач, в результате чего этот подход уже не в состоянии обеспечить нужное качество проектирования и управления. Необходимость в качественном и массовом процессном моделировании требует широкого освоения соответствующих методов.

Классический подход к моделированию процессов основан на методах управления технологическими системами. Такие методы формализованы в виде задач о приведении вектора состояния объекта в целевой диапазон значений с помощью соответствующих воздействий и удержания его там при наличии внешних возмущений [2, 3]. Решения этой задачи делают возможным, например, автоматическое управление самолётами, плотинами, электростанциями, железнодорожными перевозками, городской инфраструктурой и т.д. Однако, когда в устройстве объекта управления существенное место занимают живые организмы, этот подход сталкивается с трудностями. Такие объекты приобретают собственное поведение, прогнозирование которого обычными способами не представляется возможным [4, 5]. Непредсказуемыми становятся и отклики объекта на управляющие воздействия. Зримым результатом такой потери управляемости являются, например, современные экономические кризисы, ставящие под сомнение основы соответствующей науки [6–9].

Описанная проблема следует из различия закономерностей живой и неживой природы, обусловившего давний разлом между гуманитарными и точными науками. Механистическое моделирование живых систем остановлено т.н. барьером сложности, отделяющим живую природу от неживой [10]. Для червя с нервной системой из 302 нейронов [11], например, преодолеть этот барьер к настоящему времени не удалось [12, 13].

В альтернативном подходе к задаче процессного моделирования изначально рассматривается поведение индивида во взаимодействии с внешней средой. Его основой является наблюдение о том, что такое взаимодействие всегда содержит действие и отклик от него. Реализованные имеющимися органами движения и восприятия, эти этапы образуют замкнутый контур, определяющий структуру субъективного мира рассматриваемого индивида [14, 15]. Эта модель оказалась применима ко многим процессам, не описываемым в классическом детерминированном подходе. Она представляет собой, в частности, т.н. *жизненный цикл* (ЖЦ) сложных систем и деятельностей, состоящий из последовательности фаз развития, характерных для живых организмов [16–18]. Функционально аналогичные фазы когнитивного развития человека [19], литературных и киносценариев [20], познания и творчества [21], развития организаций и компаний [22, 23], проектов, продуктов и технологий [24–28], социальных и экологических систем [29, 30] выделяются и обозначаются в соответствии с особенностями конкретной предметной области (ПрО).

Для задач процессного моделирования ЖЦ предпочтителен своей возможностью структурировать названные виды жизнедеятельности в интуитивно простом виде. Недостатками модели является отсутствие подходов к её использованию в целях повседневного прогнозно-поведенческого моделирования, например, для предвидения последствий и оценки целесообразности того или иного решения; кроме того, отсутствуют математическая формализация ЖЦ и методы измерения соответствующих параметров, необходимые для точных технологических применений. В результате, использование ЖЦ ограничено качественным анализом в ряде частных задач, иногда сопровождаемым стрелочно-блочными схемами [31–33]. Исключение составляет модель управления ЖЦ [34], сложная математическая форма которой, однако, затрудняет её повседневное применение.

В настоящей статье представлен вариант решения данной проблемы. В разделе 1 выявлены естественные прототипы ЖЦ, на основе которых установлена его геометрическая модель и когнитивная функция. В разделе 2 описана естественно-языковая дискретизация ЖЦ, пригодная для общего применения. В разделе 3 представлена экспериментальная проверка полученной модели на основе модели машинного естественного языка. В разделе 4 приведено обсуждение причинно-следственной функции ЖЦ, описано его сопряжение с методами и факторами классической семантики, а также рассмотрены свойства построенной таким образом универсальной онтологии процессов в Природе.

1 Когнитивная модель процесса

Общая когнитивная модель процессов должна быть адекватна практикам индивида. В соответствии с принципами воплощённого интеллекта [35, 36] и когнитивного изоморфизма [37, 38] такую модель в мышлении человека следует искать в основных функциях его организма и закономерностях окружающей его среды: сердцебиении, дыхании, смене времён года, дня и ночи, лунных фаз, других природно-физиологических циклах [39]. Общим свойством названных процессов является их периодичность, т.е. образованность повторением некоторой единицы: удара сердца, дыхательного цикла, года, суток и т.д.

1.1 Фазовая траектория

Простейшим периодическим процессом являются гармонические колебания: качели, струны музыкального инструмента, заряда в LC -контуре, многих других физических систем. Все эти процессы, описываемые одним и тем же уравнением одномерного движения, имеют общее графическое представление, показанное на рисунке 1 для пружинного маятника. В состоянии 1 деформация пружины, т.е. координата $x = 0$, тогда как импульс груза направлен

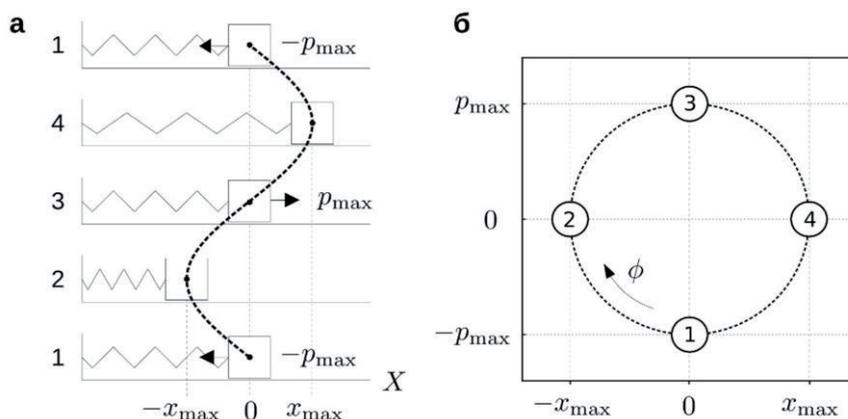


Рисунок 1 - Гармонический маятник как прототип когнитивной модели процесса.

а) колебание пружинного маятника. Показаны последовательные состояния 1-4 с экстремальными значениями импульса p и координаты x . б) соответствующая траектория на фазовой плоскости $x - p$

против горизонтальной оси и имеет значение $-p_{max}$. В состоянии 2 пружина максимально сжата, что соответствует координате $-x_{max}$. Далее груз проходит исходную точку $x = 0$ с положительным импульсом p_{max} (состояние 3), достигает наибольшей деформации x_{max} (состояние 4), после чего возвращается в исходное состояние 1. На фазовой плоскости с координатами $x - p$ описанный процесс представляется круговой траекторией, показанной на рисунке 1б. Данная фазовая траектория есть математическая модель одного периода гармонического процесса, представляемого равномерным движением точки по окружности. Физические параметры разнообразных процессов (дыхательное и кровяное давление, скорость соответствующих потоков, суточная и годовая динамика активности и т.д.) могут иметь более сложный ритмический рисунок, переменную амплитуду и темп. Гипотеза данной работы состоит в том, что когнитивная модель элементарного процессного цикла, тем не менее, может быть представлена в виде окружности на фазовой плоскости.

1.2 Когнитивная функция фазовой траектории

Когнитивная функция представленной математической модели следует из функциональной структуры элементарных процессных прототипов, в качестве каковых наиболее удобны

суточные и годовые циклы. Эти процессы характерны геометрическим подобием фазовой траектории, показанной на рисунке 1б. В суточном цикле, например, состояния 1-2-3-4 соответствуют положению Солнца относительно горизонта ночью, утром, днём и вечером. В сезонном цикле аналогичными состояниями являются зима, весна, лето и осень. Это соответствие позволяет установить когнитивную функцию фазовой траектории следующим образом.

В силу периодичности процесса его началом можно сделать любую точку фазовой траектории. Как в суточном, так и в годовом цикле таким началом выбрано состояние 1 – нижняя точка на рисунке 1б: середина зимы близка к дате зимнего солнцестояния, тогда как полночь близка к наинизшей точке Солнца относительно горизонта. В Природе - это время минимальной активности, обусловленной наименьшей температурой и освещённостью, используемое живыми организмами для восстановления, отдыха, бессознательной обработки информации.

Сон заканчивается с наступлением утра. Освещение позволяет оценить состояние среды после ночных изменений, выявить новые проблемы и возможности. Уточняются или ставятся задачи на день и планы работ. Зарядка и завтрак подготавливают систему к работе и доставляют необходимые ресурсы. В растительной природе аналогичные процессы идут по естественным алгоритмам: весной размораживается и прогревается земля, просыпаются растения и живность, распускаются и опыляются цветы, накопленная за зиму вода доставляется в почву, подготавливая её к работе.

День и лето (точка 3 на рисунке 1б) есть периоды наибольшей внешней активности. Намеченные задачи решаются, планы выполняются и корректируются по ходу работ. Получая наибольший поток света и питательных веществ, растения и животные имеют наилучшие условия для созревания плодов и развития потомства.

Наконец, вечер и осень (точка 4) есть время получения результатов. По завершении работ подводятся итоги, намечаются планы на следующий день. Ужин и отдых восполняют затраченные ресурсы. Растения дают урожай, животные накапливают силы для зимовки. Дожди и листопад дают материал для восстановления почвы к следующему сезону.

1.3 Примеры

Описанную функциональную структуру легко проследить во множестве процессов, не связанных с сезонной цикличностью.

1.3.1 Пример 1: разработка самолёта

- «Весной» определяется назначение и желаемые характеристики самолёта, формируется техническое задание, определяются исполнители, планируется работа.
- «Летом» проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, результатом которых является прототип изделия.
- «Осенью» готовится документация и отчётность, проводятся финальные испытания, после которых модель принимается к производству либо отправляется на доработку.
- «Зимой» в ходе эксплуатации самолёта происходит накопление опыта, по результатам которого возможен запуск нового цикла разработки.

Данные этапы соответствуют частям процессного цикла, отмеченным на рисунке 1б цифрами 2-3-4-1. Прохождение этой последовательности частей фазовой траектории можно проследить в процессе создания любой технической системы или продукта [26, 27].

1.3.2 Пример 2: разработка образовательной программы

Процессная структура используется для создания образовательных программ. Временам года при этом соответствуют стороны так называемой «X-матрицы» [40], отражающие ключевые элементы программы:

- «зима»: вызовы и нужды, удовлетворяющиеся образовательной программой;
- «весна»: задействованные для этого научные результаты и технологии;

- «лето»: образовательные модули, реализуемые в процессе обучения студентов;
- «осень»: достигаемые результаты в виде знаний, умений и навыков.

В большем масштабе то же самое применимо к разработке научных направлений [41].

1.3.3 Пример 3: структура научной статьи

Аналогичное соответствие можно видеть в структуре научной статьи [42, 43]: введение, методы, результаты и обсуждение соответствуют вышеописанной сезонной последовательности начиная с весны.

Эти и многие другие примеры иллюстрируют универсальность представленной процессной структуры, применимой к естественным и искусственным процессам любой природы, в том числе и непериодическим.

2 Дискретизация фазовой траектории

В соответствии с дискретной организацией естественных языков и мышлений [44, 45], работоспособная модель процесса должна представлять его в виде последовательности отдельных этапов, стадий или фаз [16]. В отличие от качественных моделей задача количественного описания предъявляет к такой дискретизации более строгие требования. А именно, этапы процесса должны соответствовать секторам фазовой траектории (рисунок 1б), задаваемым определёнными интервалами угла ϕ . Установление такого соответствия требует более аккуратного подхода к определению состава этапов процесса.

2.1 Двух- и четырёхэтапные модели

2.1.1 Асимметрия четырёхэтапной модели

Рассмотрение суточно-сезонной дискретизации процесса показывает, что из четырёх процессных «сезонов» один явно выделяется по своему содержанию. Весна, лето и осень наполнены работами, направленными на определённый результат: подписанное исполнителем и заказчиком техническое задание, прототип изделия, принятый либо отклонённый результат разработки. Зимой, напротив, никакой конкретный результат не достигается; это период межсезонья, неопределённый по целям и по срокам. Бессистемное накопление опыта в ходе эксплуатации продукта не стоит в одном ряду с остальными тремя этапами процесса. Аналогичная «разбалансировка» имеет место и в структурах годового и суточного циклов. В Природе зима и ночь есть периоды сна, т.е. бессознательного состояния в отсутствие направленной мыслительной или практической деятельности¹. Для искомой модели процесса такая асимметрия нежелательна.

Отмеченные обстоятельства указывают на нетривиальность задачи о нахождении простейшей модели процесса, в которой фазовая траектория элементарного цикла делилась бы на минимальное число разнокачественных, но одинаково необходимых и содержательных этапов. Суточно-сезонная схема указывает на возможность рассмотреть в таком качестве трёхчастную модель утро-день-вечер, полученную в результате устранения из неё наименее содержательного этапа «ночь». Это решение подсказано, в частности, системой времён года в древнем Египте.

¹ В техногенной среде эти особенности естественных циклов менее выражены. В этих условиях времена года и суток выполняют скорее хронометрическую, нежели исходную процессно-смысловую функцию.

2.1.2 Недостаточность двухэтапной модели

Классическим выражением двухэтапной модели процесса является простейший цикл обратной связи [46–48], восходящий к функциональной семиотике Як. фон Иксюля [49].

Как показано на рисунке 2, схема состоит из системы и среды, сообщающихся в обоих направлениях. Действие системы на среду и среды на систему обозначено стрелками «действие» и «ответ», представляющими собой этапы их взаимодействия. Схему легко проиллюстрировать на процессах взаимодействия колеса с дорогой, печки с воздухом в бане, льдины с окружающей водой и т.д.



Рисунок 2 - Двухэтапная модель процесса на основе функционального цикла Як. фон Иксюля

Двухэтапную модель можно использовать и для моделирования взаимодействия с окружением живых организмов. В этом случае система приобретает качество субъектности, отсутствующее у машин и автоматов. Это качество позволяет индивиду оценивать окружение в соответствии с его личными критериями и принимать решения, не predetermined содержанием обратной связи [14]. В этой связи в схему добавляется третий элемент «организм» [50], не имеющий явного отражения на рисунке 2.

2.2 Трёхэтапная модель

Недостаточность двухэтапной и асимметрия четырёхэтапной моделей процесса устраняются в трёхэтапной структуре. Такая модель используется в ряде ПрО, среди которых наиболее значимыми для поставленной задачи являются следующие:

- трёхактная структура «завязка (введение, знакомство) — развитие (конфликт) — разрешение (кульминация)» литературных, театральных и киносюжетов [20, 51, 52], восходящая к учению Аристотеля о драматической композиции;
- цикл «восприятие (sense, perceive) - рассуждение (think, plan, decide) - действие (act)», используемый в кибернетике, робототехнике и искусственном интеллекте как универсальная структура поведения [53, 54];
- фазы «проектирование», «реализация (технология)» и «рефлексия», образующие наиболее грубую структуру сложной деятельности [16, 55];
- последовательность этапов проектирования «анализ (analysis) – творчество (genesis) – синтез (synthesis)» [56].

Данные схемы находятся в простом соответствии с рассмотренными сезонными и суточными моделями процесса (раздел 1.2.1). Так, наиболее активные этапы *развитие, действие, реализация, творчество* соответствуют «лету» и «дню». Предшествующие им *завязка, рассуждение, проектирование* и *анализ* соответствуют «весне» и «утру». Следующие после действия *кульминация* и *синтез* соответствует осени (вечеру), тогда как *восприятие* и *рефлексия* ближе к «зиме» и «ночи».

Для универсальности модели желательно использовать названия этапов, применимые к любым процессам в Природе. В этом отношении кибернетическая и деятельностная терминологии предпочтительнее сюжетной. Кроме того, желательно обеспечить функциональную равновесность этапов, т.е. отсутствие описанной в 2.1.1 асимметрии. Для этого наиболее пассивный кибернетический этап *восприятие* (зима, ночь) необходимо сместить по фазовой траектории в сторону «осени», т.е. в сторону сбора результатов действия и их оценки.



Рисунок 3 - Трёхэтапная модель процесса Анализ – Действие - Оценка, наложенная на сезонную и суточную разметку фазовой траектории

В результате можно ожидать, что симметричная трёхэтапная модель процесса может быть формализована этапами, показанными на рисунке 3:

- 1) *Анализ* или объяснение новой информации, поступившей системе (субъекту) из среды по каналам обратной связи через доступные органы чувств;
- 2) *Действие*, выражающее ответ системы (субъекта) на полученную информацию;
- 3) *Оценка* полученного результата, т.е. достигнутых действием изменений в состоянии целевого объекта (среды).

2.3 Удвоение точности

Для некоторых применений трёхэтапная модель процесса оказывается слишком грубой. Циклы познания и творчества, например, имеют до пяти этапов [21], сценарные структуры — до семи [52], а циклы управления социальными системами — до девяти [57, 58]. В этой связи желательно следующее уточнение модели.

2.3.1 Промежуточные этапы

В трёхэтапном представлении процесса можно заметить разрывы. Действие (этап 2), например, не следует непосредственно за анализом новой информации (этап 1); между ними обычно имеет место постановка субъективных целей по отношению к выявленной новизне, а также разработка планов по их осуществлению². Качественное отличие этой деятельности от этапов 1 и 2 указывает на целесообразность её выделения в отдельный этап процесса *целеполагание и планирование*, который вслед за [16] можно назвать *проектированием*.

Сходным образом описание-оценка результата и его последствий (этап 3) не следует сразу за действием (этап 2). Исполнение первоначального плана обычно ведёт не к конечному результату, а лишь к его черновому варианту. В процессе разработки самолёта (раздел 1.3.1), например, таковым является его первый прототип, который далее доводится до конечного вида на основании результатов испытаний. Эта последняя часть, качественно отличная от этапов 2 и 3, также может быть выделена в отдельный этап процесса, который можно назвать *прогрессом, согласованием, доводкой или подгонкой*.

Наконец, получение новой информации (этап 1) не следует сразу за оценкой конечного результата (этап 3). Формирование отклика среды на это воздействие требует времени, которое со стороны субъекта переживается как упомянутый в разделе 2.1.1 период межсезонья. Этот этап получения и накопления опыта без его систематического анализа можно назвать *наблюдением или восприятием*.

Таким образом, в ходе процесса можно дополнительно выделить три качественно-своеобразных этапа *целеполагание и планирование* (проектирование), *согласование-подгонка* и *наблюдение-восприятие*, расположенные между основными этапами *объяснение-анализ*,

² Эта деятельность имеет место независимо от того, осознаётся она субъектом или нет. В последнем случае цели и планы берутся индивидом из внешних источников в виде готовых информационных блоков и алгоритмов.

исполнение-действие и *апробация-оценка*. Предполагая функциональную равноценность всех шести этапов, они образуют симметричную схему, показанную на рисунке 4. Каждому этапу при этом соответствует 60-градусный сектор фазовой траектории на рисунке 1б.

Подробность полученной модели процесса близка к сценарным и кибернетическим моделям. Это характерное число этапов обусловлено ёмкостью внимания человека, способной удерживать не более 7 ± 2 объектов одновременно [59]. В этой связи шестиступенчатую модель можно считать близкой к оптимальному соотношению точности и сложности. Следующим симметричным увеличением точности является девятиэтапная модель, получаемая трёхэтапной развёрткой каждого из основных этапов процесса. Дальнейшее уточнение модели ведёт к превышению указанного предела, что может быть компенсировано использованием технических средств (например, часов с 12 частями круга и минутной стрелкой).

2.3.2 Переходные состояния

Исполнение-действие переходит в фазу *согласования-подгонки* с появлением первого прототипа или макета конечного результата. Аналогично, другие этапы процесса сопрягаются между собой через промежуточные состояния, одновременно являющиеся конечными точками предыдущих этапов и начальными точками следующих. На рисунке 4 эти состояния обозначены терминами в радиальных направлениях.

Результатом восприятия-наблюдения является фактор, выделенный из фоновой информации как *новость*, заслуживающая внимания. Результатом анализа-объяснения этой новости является *модель* или *понятие*, выраженное в некотором языке: естественном, математическом, программном и др. На основе этой модели возможно управление выявленным фактором, начинающееся с постановки субъективных целей в отношении его. Планирование такого управления завершается созданием *проекта* будущих действий. Осуществление этого проекта заканчивается заготовкой, *прототипом* или *макетом* желаемого результата. В ходе согласования и подгонки макет доводится до конечного состояния или *результата*. Наконец, апробация и оценка полученного результата заканчиваются *заключением* или *выводом*. Таковым может стать, например, изменение стереотипов восприятия, новое качество которых будет основой для наблюдения и восприятия в следующих процессных циклах субъекта.



Рисунок 4 - Шестиступенчатая модель процесса. Основные и промежуточные этапы показаны соответственно чёрным и серым. Промежуточные состояния отмечены терминами в радиальных направлениях

2.4 Симметрии

Полученная шестиступенчатая модель обладает рядом симметрий. Верхняя и нижняя половины рисунка 4 соответствуют двум этапам цикла обратной связи, рассмотренного в разделе 2.1.2, каждый из которых дополнительно разделён на три части. Как и на рисунке 2, эти тройки различаются по направленности: *оценка*, *восприятие* и *анализ* направлены на изме-

нение состояния субъекта, тогда как *проектирование*, *действие* и *согласование* направлены на изменение объекта (среды).

Этап *восприятие* описан в разделе 1.2 под именем «ночь-зима». В составе шестиступенчатой модели он не приводит к асимметрии, рассмотренной в разделе 2.1.1. Благодаря выделению этапов *согласование* и *проектирование*, модель сохраняет троичную симметрию, образованную тремя основными и тремя промежуточными этапами. На рисунке 4 эти тройки отмечены чёрными и серыми секторами, соответственно. Значимость этой фундаментальной симметрии [60] дополнительно показана в разделе 4.

Каждая из трёх пар противоположных этапов обладает своей функциональной общностью. *Восприятие* можно рассматривать как *действие* среды на субъекта. В обоих случаях результатом является новизна внешнего (*новость*) или внутреннего (*прототип*) происхождения. Далее это новшество согласуется с окружением, в которое оно привнесено: расположение новости в когнитивной системе субъекта есть *объяснение* или *анализ*, тогда как адаптация прототипа к реальным условиям внешней среды есть *согласование* или *подгонка*. В обоих случаях результатом такого согласования является готовая к работе *модель*: теоретическая на рисунке 4 слева и практическая справа. В процессах технического конструирования (пример в разделе 1.3.1), модель есть имя готового к массовому выпуску изделия, которое присваивается ему в этой точке. Приложение модели к целям субъекта даёт *проект* последующего действия. Аналогично, соотнесение результата с состоянием и целями среды даёт ему оценку в форме *заключения* или *вывода*: удалось ли субъекту достичь целей, указанных в проекте. Последующие действия субъекта и среды возвращают процесс к исходной точке цикла.

3 Эксперимент

Если представленная модель соответствует действительности, то её признаки должны проявляться в различных аспектах естественного интеллекта. В частности, можно ожидать что структура, показанная на рисунке 4, должна быть отражена в естественном языке как формате мышления человека. Эта гипотеза проверена экспериментально на основе методики семантического анализа естественного языка [61].

3.1 Данные

Исходными данными эксперимента является модель естественного языка *word2vec*, представляющая каждое из порядка 3 млн. английских слов и выражений в виде вектора в 300-мерном пространстве [62]. Это представление³ отражает некоторые смысловые закономерности языковой практики в алгебраическом виде. Например, разница между векторами, представляющими слова «мужчина» (man) и «женщина» (woman) оказывается близкой к разнице между векторами, представляющими слова «дядя» (uncle) и «тётя» (aunt) [63]. Аналогично (там же), $\overrightarrow{\text{Россия}} - \overrightarrow{\text{Москва}} \approx \overrightarrow{\text{Китай}} - \overrightarrow{\text{Пекин}} \approx \overrightarrow{\text{Испания}} - \overrightarrow{\text{Мадрид}}$. В соответствии с заявленной гипотезой можно ожидать, что круговая упорядоченность процессных этапов должна иметь место в данной модели в виде аналогичных векторных соотношений.

3.2 Методика

Наиболее простым подтверждением рассматриваемой гипотезы могло бы стать нахождение в 300-мерном пространстве *word2vec* двумерного подпространства (плоскости), в проек-

³ Полученное как состояние внутреннего слоя нейронной сети, тренированной на задаче угадывания пропущенного слова по его окружению в большом массиве текстов.

ции на которую векторы, представляющие названия этапов процесса, располагались бы в соответствии со схемой на рисунке 4. Данный подход не является наилучшим вследствие многозначности использованных слов; в составе развёрнутого описания этапов их смысл может быть точен, однако вне такого контекста ассоциативная структура любого отдельного слова вносит искажения.

Анализ, например, имеет медицинские ассоциации, не имеющие отношения к структуре процесса; *цель* (*goal*) в английском языке также используется в значении гола в футболе; словом *прогресс* именовано семейство космических кораблей, имеющих весьма опосредованное отношение к делу.

Для компенсации неустранимых шумов такого рода каждый этап процесса, нумеруемый индексом k , описывался набором из 10-20 характерных слов. *Восприятие* ($k = 1$), например, характеризуется $N_1 = 18$ английскими словами *perception, observation, cognition, feedback, feeling, reflection, intuition, introspection, monitoring, sensing* и др., каждое из которых с большей или меньшей точностью можно использовать в качестве названия этапа. Среднее от N_k соответствующих 300-мерных векторов \vec{w}_k^i

$$\vec{W}_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} \vec{w}_k^i, \quad k = 1 \dots 6, \quad (1)$$

есть вектор процессно-смыслового прототипа каждого из шести этапов. Наборы слов для всех этапов идентичны использованным в работе [61].

Для нахождения искомой плоскости шесть векторов (1) складываются с фазовыми множителями, соответствующими их теоретическому расположению на рисунке 4:

$$\vec{\Omega} = \sum_{k=1}^6 \vec{W}_k e^{i\Phi_k} = \vec{X} + i\vec{Y}, \quad \Phi_k = 60^\circ * (k - 1). \quad (2)$$

Действительная \vec{X} и мнимая \vec{Y} части этого вектора есть базисные векторы искомой плоскости. Декартовы координаты x, y любого слова из модели *word2vec* на этой плоскости определяются с помощью проекции на неё соответствующего вектора \vec{w} :

$$\mathbf{s} = \vec{w} \cdot \vec{\Omega} = x + iy. \quad (3)$$

Для проверки рассматриваемой гипотезы эта операция применяется к усреднённым векторам прототипов и составляющим их отдельным словам \vec{w}_k^i (1).

3.3 Результат

Результат такой проекции показан на рисунке 5. Согласно схеме цвето-семантического кодирования [64] этапы *наблюдение-восприятие, объяснение-анализ, целеполагание и планирование* (проектирование), *исполнение-действие, согласование-подгонка* и *апробация-оценка* показаны бирюзовым, синим, фиолетовым, красным, жёлтым и зелёным, соответственно. Большими и малыми точками показаны проекции (3) прототипов (1) и соответствующих отдельных слов на найденную процессную плоскость (2). Длина проекций прототипов составляет 0.34 ± 0.01 , их среднее отклонение от теоретических направлений (2) составляет 0.6° . Близость полученной структуры к правильному шестиугольнику подтверждает гипотезу о наличии представленной модели процесса в структуре естественного языка.

Разброс координат отдельных слов вокруг прототипа каждого этапа показан полупрозрачным кругом соответствующего цвета и радиуса. Деление этих радиусов на длины векторов-прототипов даёт угловые разбросы $21.4^\circ, 28.4^\circ, 24.8^\circ, 23.2^\circ, 21.7^\circ$ и 28.4° для шести этапов в их естественном порядке. Из этих значений видно, что угловой размер основных этапов процесса (анализ, действие, оценка) в среднем на 4° больше, чем средний угловой размер остальных этапов, составляющий 22.6° . На рисунке 5 это отличие заметно как

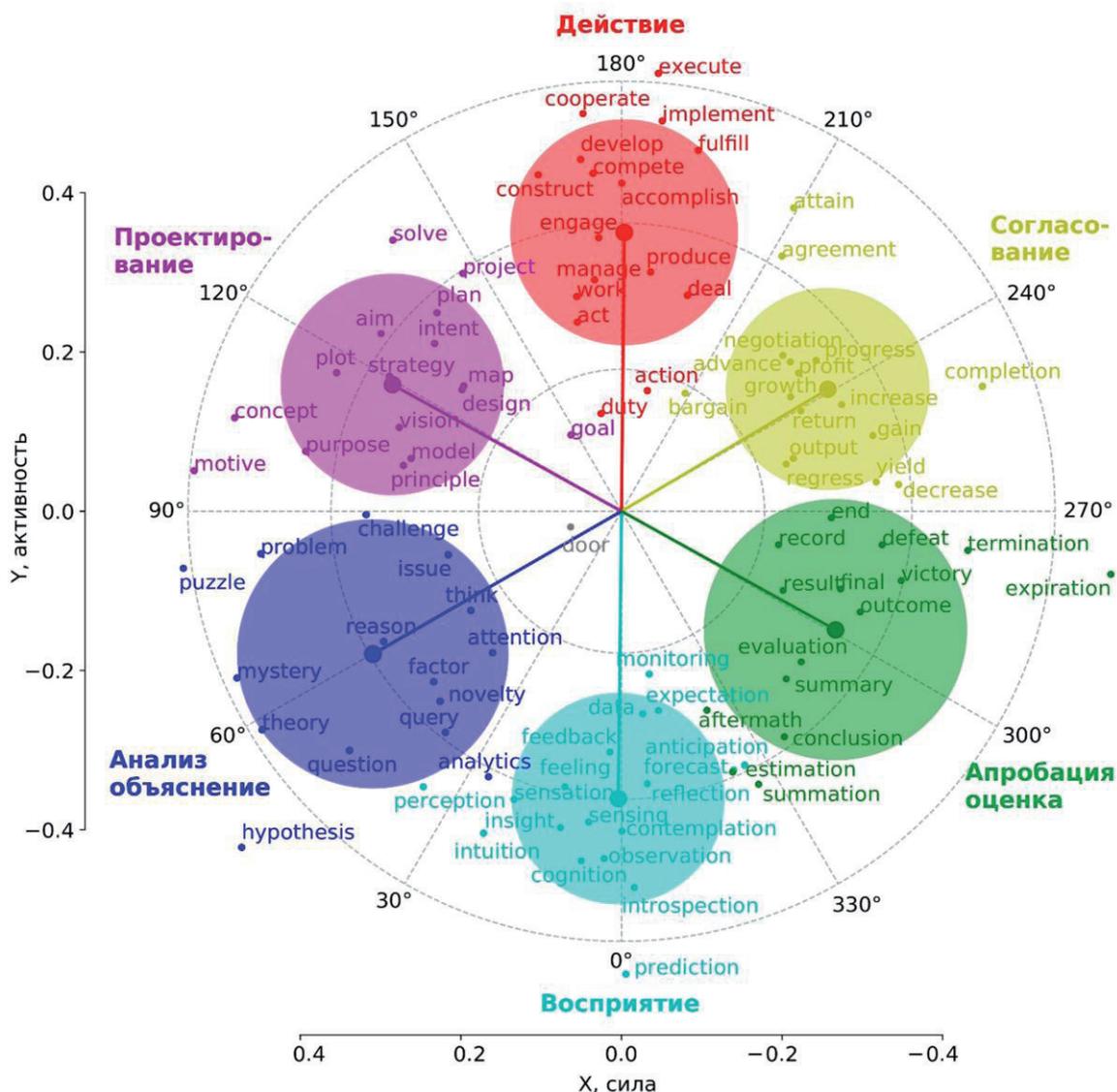


Рисунок 5 - Слова английского языка в проекции на процессно-семантическую плоскость в 300-мерном пространстве языковой модели *word2vec*. Бирюзовый, синий, фиолетовый, красный, жёлтый и зелёный цвета соответствуют этапам процесса, показанным на рисунке 4

большой размер синего, красного, и зелёного кругов по сравнению с остальными. Этот результат указывает на возможную поправку к теоретической модели, согласно которой основные этапы, показанные на рисунке 4 чёрными секторами, могут быть примерно на 10° шире промежуточных этапов, показанных серым.

4 Обсуждение

4.1 Причинно-следственная структура процесса

Строя модель полученной информации, анализ объясняет её происхождение и назначение. По отношению к действию такое объяснение отвечает на вопросы «Почему это действие нужно?» или «Почему это действие произошло?», т.е. выявляет его *причины*. Описание и оценка полученного результата отвечает на вопрос «Зачем это действие (было) нужно?», т.е. выявляет *следствия* рассматриваемого действия. Само же описание действия отвечает на во-

просы «Как ответить на эту новость?» и «Как получить этот результат?». Трёхэтапная структура процесса «Анализ — Действие — Оценка», таким образом, представляет собой ответ на классическую тройку вопросов «как, зачем и почему», геометрически организованный в причинно-следственном порядке⁴. Тройка *причина – действие – следствие* при этом соответствует системе времён *прошлое – настоящее – будущее*, дополнительно подтверждая фундаментальность трёхчастной структуры процесса (см. раздел 2.2).

Процессное и причинно-следственное моделирование, таким образом, есть разные стороны одной и той же деятельности, представляемые в общей геометрической структуре (рисунок 4). В естественном мышлении такое моделирование позволяет индивиду анализировать прошлое, проектировать будущее, управлять поведением и состоянием собственного организма [65–70]. В описанном эксперименте (раздел 3) эта функция реализована в проекции «сырых» 300-мерных векторов на соответствующую плоскость $X-Y$ с последующей классификацией в структуре универсальных причинно-функциональных прототипов (ср. [71]). В терминологии А.Н. Уайтхеда [72] данная процедура представляет собой отображение непосредственно воспринимаемой объективной информации («*presentation immediacy*») в причинно-осмысленный вид («*causal efficacy*»).

4.1.1 Объективность и субъективность

Если посеять хлеб в июле, то до морозов всходы созреть не успеют; сеять надо, когда земля сырая и тёплый сезон впереди; если же весной отдыхать, то урожая не будет; работать и отдыхать лучше в соответствии с физиологическими циклами организма. Подобно этим тривиальным примерам, рассмотренные выше функции времён года и суток обусловлены объективными законами Природы. Знание этих структур в необходимой детальности есть признак квалификации, дающий субъекту шансы на успех в соответствующем деле.

Причинно-следственные последовательности, тем не менее, не предопределены единственно правильными вариантами. Альтернативой приведённому сельскохозяйственному циклу является, например, практика работы с озимыми культурами, предполагающая посев не весной, а осенью. Возможность построения произвольных причинно-следственных моделей, таким образом, необходима для прогресса и развития. Среди огромного числа комбинаторно-возможных перестановок событий нахождение эффективных процессно-причинных структур составляет суть освоения человеком новых практик, знаний и технологий.

Произвол субъекта в построении процессно-причинных моделей реальности имеет важнейшее значение в естественном мышлении. Пренебрежение этим обстоятельством обусловило, в частности, проблемность моделирования сложных систем на основе классической кибернетики [47, 73] и бихевиоризма, в которых объективно-детерминированная схема «стимул-ответ» идентична показанной на рисунке 2. Субъективность представленной модели позволяет использовать её для формализации кибернетики высших порядков и подходов к управлению активными средами [74–76]. Альтернативность процессно-причинного моделирования можно рассмотреть в трёхэтапной модели процесса на следующем примере.

4.1.2 Пример 4: причинно-следственное моделирование

Пусть субъекту С стало известно, что индивид А купил у индивида Б строительную тачку. В каком процессе участвует это событие? Возможно, А задумал ремонт или стройку, для чего и понадобилась тачка. Поэтому он нашёл продавца Б и договорился с ним о покупке, так что теперь он может перевозить землю, щебёнку, песок и другие материалы. Данная причинно-следственная модель событий показана на рисунке ба.

⁴ Популярная тройка «что, где, когда», направленная на выявление фактической, а не процессно-смысловой информации, таким свойством не обладает.

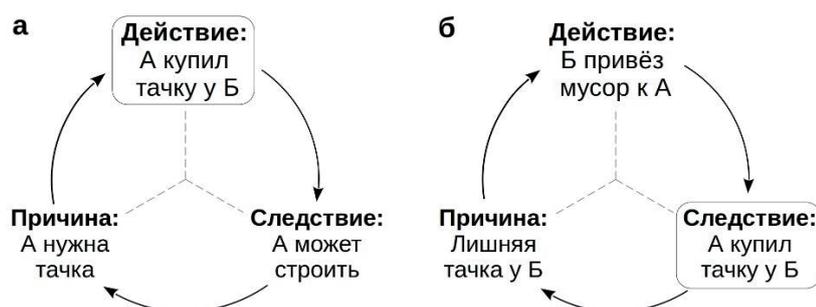


Рисунок 6 - Альтернативные причинно-следственные модели события «А купил тачку у Б» (в рамке).

а) Покупка - действие, с помощью которого А решает строительную задачу.

б) Покупка - следствие действия Б по созданию проблемы у А. В зависимости от модели в субъектной позиции находится индивид А или индивид Б

Это объяснение, разумеется, не является единственно возможным. Возможно, что у Б была лишняя тачка, на которой он решил заработать. Для этого Б выгрузил у дома А несколько тачек мусора. В результате А купил тачку у Б, чтобы расчистить подъезд. Эта модель показана на рисунке 6б.

Описанные модели одного и того же события влекут за собой разные оценки действий А и Б, существенные для взаимодействия с ними субъекта С. В отсутствие такой модели информация о событии несёт гораздо меньшую практическую ценность; именно этим и обусловлена вышеупомянутая важность процессно-причинного моделирования в естественном мышлении.

4.2 Когнитивная функция координат процессной плоскости

Рисунок 5 показывает, что помимо фазовой координаты ϕ (рисунки 1 и 4) действия, события и ситуации различаются ещё и по радиальной координате. Это обстоятельство указывает на желательность когнитивного определения обеих координат процессной плоскости как в полярной, так и в декартовой форме.

4.2.1 Радиус в полярных координатах

Нулевое значение радиуса соответствует единственной точке в начале координат, для которой фазовая координата не определена. Соответственно, событие (информация, ситуация, слово), расположенное вблизи этой точки, в рассматриваемом процессе функции не имеет. Таковым является, например, слово *дверь* (*door*), в различных контекстах участвующее во всех возможных этапах процессов: дверь как содержание восприятия; открытие двери как анализируемая новость; как цель, часть плана, содержание действия или его конечный результат. Если бы все эти функции были равновероятны, то на рисунке 5 слово располагалось бы точно в центре плоскости. Его действительное положение, показанное серой точкой, отстоит от начала координат на расстояние 0.04 в направлении $\phi \approx 75^\circ$. Данный результат правдоподобно указывает на то, что чаще других процессных функций *дверь* выступает в функции новизны, анализируемой на этапе 2.

Радиальная координата на фазовой плоскости, таким образом, отражает процессно-функциональное значение рассматриваемого события либо информационного блока (слова, мелодии, образа и т.д.). Для каждого конкретного процесса такое значение имеют лишь несколько таких блоков, число которых ограничено ёмкостью внимания субъекта (раздел 2.3). Слова, представленные на рисунке 5, характерны тем, что выражают одно и то же процессное значение для большинства контекстов их использования (в выборке текстов, использованной для обучения исходной модели *word2vec*).

4.2.2 Декартовы координаты

Декартовы координаты процессной плоскости также имеют определённую когнитивно-смысловую функцию, которая вытекает из расположения осей X и Y относительно процессных этапов, как показано на рисунке 4. Вертикальная ось Y , в частности, различает этапы действия (сверху) и восприятия (снизу), отличающиеся направлениями потока информации между субъектом и объектом, как показано на рисунке 2: *действие* представляет собой пере-

дачу информации от субъекта к объекту, тогда как при *восприятии* этот поток направлен в обратную сторону. В видимом поведении субъекта это различие направленности информационного потока проявляется в уровне *внешней* (видимой) *активности*, наибольшей на этапе действия и наименьшей на этапе восприятия. В механическом прототипе (рисунок 1) такая активность соответствует направлению импульса груза.

Вертикальное расположение остальных этапов процесса также согласуется с этой интерпретацией. *Проектирование* направлено вовне, тогда как *анализ* и *объяснение* направлены внутрь, т.к. имеют целью приведение состояния субъекта в соответствие с объектом взаимодействия. Аналогично, *согласование* направлено на достижение результата во внешней среде, тогда как *оценка* имеет своей целью адекватное представление этого результата в когнитивном состоянии субъекта. Соответственно, видимая активность субъекта на этапах анализа и оценки ниже, чем на этапах проектирования и согласования. Ещё менее активно чистое восприятие в силу своей наименьшей обусловленности внешними факторами. Наиболее активно располагающееся напротив восприятия чистое действие, характерное отсутствием каких бы то ни было размышлений.

Как видно из рисунка 2, горизонтальная ось X различает субъекта (слева) и объекта (справа). Соответствующее свойство *субъектности*, выражающее возможность определять течение рассматриваемого процесса, возрастает справа налево. Как показано на рисунке 5, наиболее субъектным является начало этапа проектирования, соответствующее постановке индивидом целей относительно предварительно понятой новизны. Последующее планирование, действие и согласование последовательно сужают диапазон открытых возможностей, достигающий минимума в момент получения результата. Переход к оценке разворачивает этот процесс благодаря многовариантности субъективного отношения результату. Субъектность восприятия ещё выше из-за ослабления обусловленности внешней средой. Анализ, определяющий возможности последующего проектирования, является ещё более субъектным, достигая максимума вблизи точки понятие-модель (рисунок 4).

Таким образом, при развитии цикла с началом на этапе восприятия ($\phi = 0^\circ$) *субъектность* следует первому периоду в обычном графике синуса, тогда как видимая *активность* следует первому периоду в обычном графике косинуса, взятому с отрицательным знаком. В силу большей наглядности *активности*, именно последний часто используется в качестве иллюстрации к динамике ЖЦ в виде типичной колоколообразной кривой [17]. Профессиональные аналитические модели содержат обе описанные координаты⁵.

4.2.3 Соответствие с классической семантикой

Установленная функция декартовых осей процессной плоскости совпадает с двумя из трёх факторов классической семантики [61, 77, 78]: Y соответствует классической активности (*activity*), X (сжатие пружины на рисунке 1) - потенциалу или силе (*potency*). Третий фактор оценки (*evaluation*) ортогонален первым двум, так что плоскость X - Y является оценочно-нейтральной, а каждый этап процессной матрицы может быть реализован как в положительно, так и в отрицательно оцениваемых событиях [79, 80]. Это соответствие сопрягает задачи управления ЖЦ сложных систем [16, 34, 57] с методами когнитивных измерений (семантический дифференциал, цветосемантическая диагностика) [81–83], которые таким образом становятся инструментами прогнозного моделирования.

В отличие от декартовых осей, выявляемых с помощью нетривиальных математических методов (главных компонент, факторного анализа и др.), процессный цикл более интуитивен как видно, например, из описания модели в разделе 2 на основе явлений природы. Эту круго-

⁵ Примером является ЖЦ товара в модели Бостонской консалтинговой группы, в которой четыре этапа развития («дикая кошка», «звезда», «дойная корова» и «собака») соответствуют квадрантам фазовой плоскости (см. раздел 2.5.2 в [17]).

вую структуру можно рассматривать в качестве естественного динамического стереотипа субъективного смыслообразования в живой природе, порождающего, в частности, упомянутые факторы классической семантики [80].

4.3 Онтология процесса

Представленный результат позволяет решить задачу по выявлению универсальной структуры процессов в Природе [84, 85]. Такая структура, состоящая из набора этапов и связывающих их причинно-следственных отношений, является *онтологией* процесса [86]. Среди онтологий отдельных предметов (печка, ветер, телефон), ПрО (техника, живые существа, небесные тела), организаций, компаний и научных дисциплин [87] представленная онтология обладает рядом исключительных свойств.

4.3.1 Свойства онтологии

- *Общность.* Представленная модель описывает структуру процессов как в живой, так и в неживой природе, включая исключительно субъективные аспекты творческого мышления. Любой субъект и объект при этом участвуют во множестве объективных процессов, а число потенциально возможных процессно-смысловых моделей, предоставляющих простор для творчества (раздел 4.1), безгранично. В соответствии с универсальными принципами информационной динамики [88] представленная модель применима ко всем этим процессам, удовлетворяя требованию межпредметной универсальности [89]. По своей общности построенная модель сходна с онтологией проектирования [90, 91] как одной из фаз любого процесса, включая жизненный цикл самих онтологий [18, 28].
- *Простота.* По сравнению с большинством работоспособных предметных онтологий, представленная онтология исключительно проста. В минимальном варианте она состоит всего из трёх элементов, при необходимости дополняемых ещё тремя промежуточными (раздел 2). Эта простота, однако, не ведёт к примитивности моделей, т.к. относится лишь к единице анализа. Реальные процессные модели могут включать неограниченное число таких единиц, когда одно и то же событие участвует во множестве параллельно протекающих процессов на различных функциональных ролях. При этом, многоуровневая вложенность объемлющих и подчинённых процессов соответствует иерархической организации естественных процессов: атом — клетка — организм — вид — биосфера — планета и т.д., отражённой в устройстве естественного мышления [92].
- *Математическая формализация.* В отличие от существующих онтологий, формализуемых в виде стрелочно-блочных последовательностей [93] или древовидных графов [94], представленная модель имеет циклическую структуру. Соответствующее представление в виде круговой траектории на фазовой плоскости наделяет онтологию простым математическим выражением. Обе полярные и декартовы координаты при этом имеют ясную когнитивно-смысловую функцию (раздел 4.2). Сопряжение с соответствующими экспериментальными методами обеспечивает метрологическую состоятельность модели, необходимую для успешного применения [58].

4.3.2 Практическое значение

В силу установленной роли ЖЦ в мышлении человека (раздел 1), альтернативами предложенной онтологии процесса являются модели ЖЦ, ранее в этом качестве не рассматривавшиеся. Системным недостатком таких моделей, ряд которых цитирован во введении, является их неполнота. А именно, ЖЦ компаний, инноваций и продуктов обычно начинаются с этапа проектирования, направленного на решение *заранее* определённой задачи.

В статье [95], например, ЖЦ разработки сложных технических систем начинается с изучения и анализа технического задания (ТЗ). На рисунке 4 эта точка располагается примерно в середине этапа *целеполагание и планирование*, т.е. $\phi \approx 150^\circ$. Это обстоятельство ограничивает применимость такого типа «урезанных» ЖЦ соответствующими этапами деятельности, когда необходимо достижение предварительно сформулированных целей: постройка завода или дороги, военная или медицинская операция и т.д.

Такая ограниченность, однако, практически никогда не отмечается, в том числе весьма уважаемыми авторами [95]. В результате вероятностно-предопределённо формируется мыслительный шаблон, в котором исключённые этапы процессного цикла никак не представлены, т.е. просто не существуют. На практике это означает, что человеку с таким шаблоном не только когда это уместно, но *всегда* будет необходимо внешнее «ТЗ», указывающее, чего именно хотеть и добиваться.

В общественном управлении такая утрата навыка целеполагания приводит к недостаточности государственного суверенитета, остро переживаемой в настоящее время. Этот «кризис субъектности» на различных социальных уровнях рассматривается как одна из главных проблем современности, игнорирование которой может иметь катастрофические последствия [76, 96-98]. По отношению к развитию техносферы, например, субъектность общества означала бы самостоятельный ответ, в том числе, на следующие вопросы: почему нужна именно та или иная система и кто в ней заинтересован; насколько полны и проверены на практике понятия соответствующей ПрО; каковы видимые последствия использования данной системы, например, для здоровья человека и биосферы и каковы могут быть такие последствия, если использованные представления неполны или ошибочны.

Как видно из последнего примера, представленная онтология процесса вскрывает и более глубокие предпосылки субъектности, обсуждаемые ещё реже целеполагания. Последнее находится лишь на третьем этапе процесса, которому предшествуют ещё два: восприятие и объяснение сигналов среды. На практике это значит, что даже когда человек занимается целеполаганием, возможный состав его целей обусловлен адекватностью его понимания мира, которое в свою очередь обусловлено личностной культурой наблюдения и восприятия. Так, не заметив изменения самочувствия, не распознать болезнь; без понятий о генетике не объяснить принцип действия вируса; без теории волн не описать интерференцию и т.д.

Описание такого типа предпосылок действия располагается в первой четверти полного ЖЦ, исключение которой из процессной онтологии ограничивает субъектность неявным и потому более опасным образом, чем явное принуждение к нежелательной деятельности. Такая недостаточность «интеллектуального суверенитета» [76, 96-98] ставит индивидов, общества и государства в зависимость от внешних поставщиков культуры и стереотипов восприятия, языков описания, научных и философских моделей, технологических стандартов и понятийных систем. Как и целеполагание, самостоятельное обеспечение этих видов деятельности необходимо для решения упомянутой выше проблемы субъектности.

Заключение

В представленном методе моделирования Природы первичным понятием является процесс - непрерывная функционально-смысловая и причинно-следственная структура, развёртка во времени и пространстве, воплощение которой в конкретных событиях имеют вторичное значение. Несмотря на свою эффективность в гуманитарных ПрО [99–101] до недавнего времени этот подход не получал должного развития в силу отсутствия удобного представления, применимого к достаточно широкому спектру процессов. Это препятствие устранено в настоящей работе. Единообразное представление процессов живой и неживой Природы в

виде фазовой траектории на семантической плоскости даёт метрологическое основание для вхождения процессного моделирования в область точной науки и техники.

В результате такого вхождения открываются новые возможности для причинно-смыслового моделирования данных на принципах естественного мышления, построения соответствующих вычислительных архитектур, совершенствования прогнозно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений. Несмотря на неустранимый субъективный аспект, требующий участия человека в оценке альтернативных процессно-смысловых моделей (раздел 4.1), разработанный экспериментальный метод указывает на возможность частичной автоматизации этих задач на основе современных моделей искусственного интеллекта и машинного обучения.

Самоуправление современного общества, однако, не может быть обеспечено одним лишь внедрением высокотехнологичных прогнозно-аналитических систем. Отмеченная во введении необходимость навыков процессного моделирования аналогична требованию всеобщей грамотности, позволившей России выжить в первой половине прошлого века. В этом отношении вклад настоящей работы достаточно скромный; описанный метод процессного мышления, по сути, сводится к постановке и ответам на вопросы *как*, *зачем* и *почему*, не являющиеся новинками русского языка. Представленная схема лишь помогает организовать и систематизировать такую практику, являющуюся ключом к подлинной самостоятельности в индивидуальной и коллективной жизнедеятельности.

Список источников

- [1] *Боргест Н.М.* Границы онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2017. Т.7, №1(23). С.7-33. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] *де Ла Барьер П.* Курс теории автоматического управления. Москва: Машиностроение, 1973. 396 с.
- [3] *Беллман Р., Калаба Р.* Динамическое программирование и современная теория управления (пер. с английского). М: Наука, 1969. 119 с.
- [4] *Брушлинский А.В.* Психология мышления и кибернетика. М: Мысль, 1970. 189 с.
- [5] *Orrell D.* The Future of everything. The Science of Prediction. Basic books, 2007.
- [6] *Bouchaud J.P.* Economics needs a scientific revolution. *Nature*. 2008. Vol.455, №7217. P.1181. DOI:10.1038/4551181a.
- [7] *Bouchaud J.P.* The (unfortunate) complexity of the economy. *Physics World*. April 2009. 04(0904.0805). DOI:10.1088/2058-7058/22/04/39.
- [8] *Orrell D.* Economyths: Ten Ways That Economics Gets It Wrong. *International Journal of Social Economics*. New Jersey: Wiley, 2011. Vol.38, № 9. P.821–822. DOI:10.1108/03068291111157267.
- [9] *Кузгин Д.* Зомби-экономика. Как мертвые идеи продолжают блуждать среди нас (пер. с англ.). Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2016. 272 с.
- [10] *Kitto K.* High end complexity. *Int. J. Gen. Syst.* 2008. Vol.37, №6. P.689–714. DOI:10.1080/03081070701524232.
- [11] *White J.G. et al.* The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis elegans* // *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 1986. Vol.314, №1165. P.1–340. DOI:10.1098/rstb.1986.0056.
- [12] *Larson S.D., Gleeson P., Brown A.E.X.* Connectome to behaviour: Modeling *Caenorhabditis elegans* at cellular resolution. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2018. Vol.373, №1758. P.8–10. DOI:10.1098/rstb.2017.0366.
- [13] *Cook S.J. et al.* Whole-animal connectomes of both *Caenorhabditis elegans* sexes. *Nature*. Springer US, 2019. Vol.571, №7763. P.63–71. DOI:10.1038/s41586-019-1352-7.
- [14] *von Uexküll J.* A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds. *Semiotica*. Walter de Gruyter, 1992. Vol.89, №4. P.319–391. DOI:10.1515/semi.1992.89.4.319.
- [15] *von Uexküll J.* A foray into the worlds of animals and humans: With a theory of meaning. University of Minnesota Press, 2010. 248 p.
- [16] *Белов М.В., Новиков Д.А.* Основы теории комплексной деятельности. Ч. 2. Жизненные циклы комплексной деятельности. Организация и управление как комплексная деятельность. *Проблемы управления*. 2018. №4. С.39–48. DOI:10.25728/ru.2018.5.5.
- [17] *Берг Д.Б., Ульянова Е.А., Добряк П.В.* Модели жизненного цикла. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. 74 с.
- [18] *Communiqué: Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle // Ontology Summit 2013 ed. Neuhaus F. et al.*

- [19] **Young G.** Development, Stages, and Causality // *Causality and Neo-Stages in Development*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P.21–42. DOI:10.1007/978-3-030-82540-9_2.
- [20] **Gulino P.** Screenwriting: the sequence approach. London: Continuum, 2004. 288 p.
- [21] **Wagenmakers E.-J., Dutilh G., Sarafoglou A.** The Creativity-Verification Cycle in Psychological Science: New Methods to Combat Old Idols. *Perspect. Psychol. Sci.* 2018. Vol.13, №4. P.418–427. DOI:10.1177/1745691618771357.
- [22] **Зябрикова А.В., Зябриков В.В.** Оптимальная траектория жизненного цикла фирмы. *Проблемы современной экономики*. 2014. С.123–127.
- [23] **Lester D.L., Parnell J.A., Carraher S.** Organizational life cycle: A five-stage empirical scale. *Int. J. Organ. Anal.* 2003. Vol.11, №4. P.339–354. DOI:10.1108/eb028979.
- [24] **Biemer S.M., Sage A.P.** Systems Engineering: Basic Concepts and Life Cycle. *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. P.145–171. DOI:10.1002/9783527627783.ch5.
- [25] **D'Ambrogio A, Durak U.** Setting systems and simulation life cycle processes side by side // ISSE 2016 - 2016 Int. Symp. Syst. Eng. - Proc. Pap. IEEE, 2016. DOI:10.1109/SysEng.2016.7753139.
- [26] **Steinert M., Leifer L.** Scrutinizing Gartner's hype cycle approach // *Technol. Manag. Glob. Econ. Growth*. 2010. P.254–266.
- [27] **Buijs J.** Modelling Product Innovation Processes, from Linear Logic to Circular Chaos. *Design*. 2003. Vol.12, №2. P.76–93. DOI:10.1111/1467-8691.00271.
- [28] **Боргест Н.М.** Роль онтологии в проектировании информационных систем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2014. OSTIS-2014, Минск: БГУИР, 2014. С.155-160.
- [29] **Patten B.C., Odum E.P.** The Cybernetic Nature of Ecosystems. *Am. Nat.* 1981. Vol.118, №6. P.886–895. DOI:10.1086/283881.
- [30] **Dufour Y., Steane P., Corriveau A.M.** From the organizational life-cycle to “ecocycle”: a configurational approach to strategic thinking. *Asia-Pacific J. Bus. Adm.* 2018. Vol.10, №2/3. P.171–183. DOI:10.1108/APJBA-05-2018-0095.
- [31] **Подсорин В.А., Харитонова А.В.** Экономические методы управления жизненным циклом производственных и социальных систем. Москва: МГУПС, 2016. 78 с.
- [32] **Павлов Н.В.** Управление жизненным циклом продукта. Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та 2014. 219 с.
- [33] **Мыльников Л.А.** О структурно-функциональном моделировании процессов с выделенным субъектом управления // НТИ Серия 22. 2022. № 2. DOI:10.36535/0548-0027-2022-02-2.
- [34] **Белов М.В.** Оптимальное управление жизненными циклами сложных изделий, объектов, систем // Проблемы управления. 2022. №1. С.19–32. DOI:10.25728/ru.2022.1.2.
- [35] **Ziemke T.** The body of knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition. *BioSystems*. Elsevier Ireland Ltd, 2016. Vol.148. P.4–11. DOI:10.1016/j.biosystems.2016.08.005.
- [36] **Clark A.** Embodied, embedded, and extended cognition // *The Cambridge Handbook of Cognitive Science* / ed. Frankish K., Ramsey W. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. P.275–291. DOI:10.1017/CBO9781139033916.018.
- [37] **Lakoff G.** The Invariance Hypothesis: is abstract reason based on image-schemas? *Cogn. Linguist.* 1990. Vol.1, №1. P.39–74. DOI:10.1515/cogl.1990.1.1.39.
- [38] **Piantadosi S.T.** The Computational Origin of Representation. *Minds Mach.* Springer Netherlands, 2021. Vol.31, №1. P.1–58. DOI:10.1007/s11023-020-09540-9.
- [39] **Сундаков В.В.** Тайны русского языка. АСТ, 2021. 670 с.
- [40] **Dukhanov A. et al.** A Systemically Synergistic Approach to the Design of Integrative Advanced Training Courses in the Field of Cross-Cutting Technologies // 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). IEEE, 2021. P.1–9. DOI:10.1109/FIE49875.2021.9637425.
- [41] **Боргест Н.М.** Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2. С.136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [42] **Sollaci L.B., Pereira M.G.** The introduction, methods, results, and discussion (IMRAD) structure: A fifty-year survey. *J. Med. Libr. Assoc.* 2004. Vol.92, №3. P.364–367.
- [43] **Wu J.** Improving the writing of research papers: IMRAD and beyond. *Landsc. Ecol.* 2011. Vol.26, №10. P.1345–1349. DOI:10.1007/s10980-011-9674-3.
- [44] **Zipf G.K.** The Unity of Nature, Least-Action, and Natural Social Science. *Sociometry*. 1942. Vol.5, №1. P.48–62.
- [45] **Rosch E.** Principles of Categorization. *Cognition and categorization* / ed. Rosch E.H., Lloyd B.B. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1978. P.27–48. DOI:10.1016/B978-1-4832-1446-7.50028-5.
- [46] **Винер М.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Москва: Наука, 1983. 344 с.
- [47] **Новиков Д.А.** Кибернетика (навигатор). Москва: Ленанд, 2015. 160 с.

- [48] **Haykin S.** Cognitive dynamic systems: Perception–Action cycle, radar, and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. DOI:10.1017/CBO9780511818363.
- [49] **Lagerspetz K.Y.H.** Jakob von Uexküll and the origins of cybernetics. *Semiotica*. 2001. Vol.134. P.643–651. DOI:10.1515/semi.2001.047.
- [50] **Young G.** Stimulus–Organism–Response Model: SORing to New Heights // Unifying Causality and Psychology. Cham: Springer International Publishing, 2016. P.699–717. DOI:10.1007/978-3-319-24094-7_28.
- [51] **Field S.** Screenplay: The Foundations of Screenwriting. New York: Delta, 2005. 309 p.
- [52] **Brütsch M.** The three-act structure: Myth or magical formula? *J. Screenwriting*. 2015. Vol.6, №3. P.301–326. DOI:10.1386/josc.6.3.301_1.
- [53] **Gat E.** On Three-Layer Architectures. *Artif. Intell. Mob. Robot.* 1997. P.195–210.
- [54] **Siegel M.** The sense-think-act paradigm revisited // 1st International Workshop on Robotic Sensing, 2003. ROSE’03. IEEE, 2003. № June. P.5. DOI:10.1109/ROSE.2003.1218700.
- [55] **Белов М.В.** Проблемы управления жизненными циклами организационно-технических систем. *Управление в социально-экономических системах*. 2018. С.117–172. DOI:10.25728/ubs.2018.76.5.
- [56] **Doblin J.** A Short, Grandiose Theory of Design. *STA Des. J.* 1987. Vol.1. P.6–16.
- [57] **Новиков Д.А.** Структура теории управления социально-экономическими системами. *Управление Большими Системами*. 2009. Том.24. С.216–253.
- [58] Достаточно общая теория управления. Постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики - процессов управления СПбГУ. Санкт-Петербург, 2011. 228 с.
- [59] **Miller G.A.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.* 1956. Vol.63, №2. P.81–97. DOI:10.1037/h0043158.
- [60] **Eco U, Sebeok T.A.** (eds.) The Sign of three: Dupin, Holmes, Peirce. Indiana University Press, 1983. 256 p.
- [61] **Суров И.А.** Открытие чёрного ящика: Извлечение семантических факторов Осгуда из языковой модели word2vec. *Информатика и автоматизация*. 2022. Т.21, №5. С.916–936. DOI: 10.15622/ia.21.5.3.
- [62] Google Code Archive. Pretrained word2vec model GoogleNews-vectors-negative300.bin.gz [Electronic resource]. 2013. <https://code.google.com/archive/p/word2vec/>.
- [63] **Mikolov T et al.** Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality // NIPS’13 Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2013. 9 p.
- [64] **Суров И.А.** Quantum core affect. Color-emotion structure of semantic atom // *Front. Psychol.* 2022. Vol.13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.838029.
- [65] **Pally R.** The predicting brain: Unconscious repetition, conscious reflection and therapeutic change. *Int. J. Psychoanal.* 2007. Vol.88, №4. P.861–881. DOI:10.1516/B328-8P54-2870-P703.
- [66] **Behrens T.E.J. et al.** Learning the value of information in an uncertain world. *Nat. Neurosci.* 2007. Vol.10, №9. P.1214–1221. DOI:10.1038/nn1954.
- [67] **Bubic A., Yves von Cramon D., Schubotz R.I.** Prediction, cognition and the brain. *Front. Hum. Neurosci.* 2010. Vol.4, March. P.1–15. DOI:10.3389/fnhum.2010.00025.
- [68] **Clark A.** Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behav. Brain Sci.* 2013. Vol.36, №3. P.181–204. DOI:10.1017/S0140525X12000477.
- [69] **Barrett L.F., Simmons W.K.** Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* Nature Publishing Group, 2015. Vol.16, №7. P.419–429. DOI:10.1038/nrn3950.
- [70] **Greve P.F.** The role of prediction in mental processing: A process approach. *New Ideas Psychol.* Elsevier Ltd, 2015. Vol.39. P.45–52. DOI:10.1016/j.newideapsych.2015.07.007.
- [71] **Vityaev E., Pak B.** Prototypes of the “natural” concepts discovery. *Cogn. Syst. Res.* 2021. Vol.67. P.1–8. DOI:10.1016/j.cogsys.2020.12.005.
- [72] **Whitehead A.N.** Process and reality. New York: The Free Press, 1929. 413 p.
- [73] **Ленский В.Е.** Системный подход в социальной и экономической кибернетике. *Системный анализ в экономике*. 2018. С.353–356. DOI:10.33278/SAE-2018.rus.353-356.
- [74] На пути к постнеклассическим концепциям управления / Ред. Ленский В.Е., Аршинов В.И. Москва: Институт философии РАН, 2005. 266 с.
- [75] **Ленский В.Е.** Экономическая кибернетика саморазвивающихся сред (кибернетика третьего порядка) // *Управленческие науки*. 2015. Т.46. С.22–33.
- [76] **Ленский В.Е.** Рефлексивность в управлении социальными системами (философско-методологический анализ). *Философия науки и техники*. 2021. Т.26, №2. DOI:10.21146/2413-9084-2021-26-2-127-147.
- [77] **Osgood C.E.** The nature and measurement of meaning. *Psychol. Bull.* 1952. Vol.49, №3. P.197–237. DOI:10.1037/h0055737.
- [78] **Osgood C.E.** On the whys and wherefores of E, P, and A. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1969. Vol.12, №3. P.194–199. DOI:10.1037/h0027715.
- [79] **Суров И.А.** Квантовая модель субъективной семантики ситуаций принятия решений. // *Гибридные и*

- синергетические интеллектуальные системы / Ред. А.В. Колесников. 2022. С.205–212.
- [80] **Surov I.A.** Natural Code of Subjective Experience. *Biosemiotics*. 2022. Vol.15, №2. P.109–139. DOI:10.1007/s12304-022-09487-7.
- [81] **Петренко В.Ф.** Основы психосемантики. 3-е изд. М: Эксмо, 2010. 480 с.
- [82] **Петренко В.Ф., Митина О.В.** Политическая психология. Психосемантический подход. Социум, 2018. 592 с.
- [83] **Яньшин П.В.** Цветосоциометрия. Исследование эмоционального состояния группы // Сборник научных трудов ученых Московского городского педагогического университета и Бакинского славянского университета / Ред.: М.А.Мыльникова. 2010. С.278–288.
- [84] **Aitken S., Curtis J.** A Process Ontology // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2002. Vol.2473. DOI:10.1007/3-540-45810-7_13.
- [85] **Kassel G.** Physical processes, their life and their history. *Appl. Ontol.* 2020. Vol.15, №2. P.109–133. DOI:10.3233/AO-200222.
- [86] **Guarino N., Oberle D., Staab S.** What Is an Ontology? // *Handbook on Ontologies / ed. Staab S., Studer R.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. P.1–17. DOI:10.1007/978-3-540-92673-3_0.
- [87] **Боргест Н.М., Коровин М.Д.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор. *Онтология проектирования*. 2013. №2. С.49–55.
- [88] **Volchenkov E.Y.** The ontology of anthropogenic systems: Information aspects. *Sci. Tech. Inf. Process.* 2011. Vol.38, №3. P.173–179. DOI:10.3103/S0147688211030117.
- [89] **Guarino N.** Understanding, building and using ontologies // *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 1997. Vol.46, №2–3. P.293–310. DOI:10.1006/ijhc.1996.0091.
- [90] **Боргест Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования*. 2013. №3. С.9–31.
- [91] **Green S., Southee D., Boulton J.** Towards a design process ontology. *Des. J.* 2014. Vol.17, №4. P.515–537. DOI:10.2752/175630614X14056185480032.
- [92] **Fuster J.M.** Upper processing stages of the perception–action cycle. *Trends Cogn. Sci.* 2004. Vol.8, №4. P.143–145. DOI:10.1016/j.tics.2004.02.004.
- [93] **dos Santos França J.B. et al.** KIPO: the knowledge-intensive process ontology. *Softw. Syst. Model.* Springer Berlin Heidelberg, 2015. Vol.14, №3. P.1127–1157. DOI:10.1007/s10270-014-0397-1.
- [94] **Боргест Н.М.** Научный базис онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2013. №1. С.7–25.
- [95] **Валькман Ю.Р., Тарасов В.Б.** От онтологий проектирования к когнитивной семиотике. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №1. С.8–34. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-8-34.
- [96] **Ленский В.Е.** Становление стратегических субъектов в глобальном информационном обществе: постановка проблемы. *Информационное общество*. 2002. Т.1. С.50–58.
- [97] **Леишевич Т.Г.** Проблема субъектности и бессубъектное состояние России в контексте экономоцентричности современной эпохи. *Научная мысль Кавказа*. 2012. № 2. С.12–20.
- [98] **Мерзляков А.А.** Проблема субъектности в социологии управления. *Социологическая наука и социальная практика*. 2018. Т. 24, № 4. С. 95–104. DOI: 10.19181/snsp.2018.6.4.6087.
- [99] **Jaeger J., Monk N.** Everything flows. A process perspective on life. *EMBO Rep.* 2015. Vol.16, №9. P.1064–1067. DOI:10.15252/embr.201541088.
- [100] **Nicholson DJ, Dupre J.** (eds.) *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford University Press, 2018.
- [101] **Селиванов В.В.** Теория мышления как процесса: экспериментальное подтверждение. *Экспериментальная психология*. 2019. Т.12, №1. С.40–52. DOI:10.17759/exppsy.2019120104.

Сведения об авторе

Суров Илья Алексеевич, 1990 г. рождения. Окончил Московский физико-технический институт (МФТИ) в 2013 г., к.ф.-м.н. (2016). Доцент Университета ИТМО. В списке научных трудов более 25 работ в области квантовой физики, квантовых моделей принятия решений, когнитивно-поведенческого моделирования и семантического анализа данных. Author ID (РИНЦ): 819354; Author ID (Scopus): 57219761715; Researcher ID (WoS): J-3796-2015. ilya.a.surov@itmo.ru.



Поступила в редакцию 15.09.2022, после рецензирования 24.10.2022. Принята к публикации 16.11.2022.



Life cycle: semantic matrix of process modeling

© 2022, I.A. Surov

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Acceleration of socio-technological changes increases demands and complexity of process modeling tasks. Developing the appropriate thinking skills is becoming a mass necessity. This paper describes a method for representation of processes, allowing systematization of such skill based on *life cycle*. Any process is then represented as a sequence of stages: *perception, analysis, design, action, coordination, and evaluation*. This sequence is formalized as a circular trajectory on a phase space, the Cartesian axes of which are the *activity* and *potency* factors of classical semantics. As a result, the scheme receives a simple mathematical expression and is interfaced with standard methods of semantic measurements. The experimentally presented structure was revealed in the *word2vec* English language vector model, which additionally aligns it with machine learning and artificial intelligence algorithms. The developed model is considered as general ontology of processes in Nature, used in natural thinking as a stereotype of building cause-and-effect models of events. The result obtained opens up opportunities for the development of methods of process and causal-sense modeling for scientific, technical and everyday purposes.

Key words: *process, prediction, causality, meaning, ontology, subjectivity.*

For citation: Surov IA. Life cycle: semantic matrix of process modeling [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 430-453. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453.

Financial Support: The study was supported by a grant of Russian Science Foundation (project number 20-71-00136).

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

List of figures

Figure 1 – Harmonic pendulum as a prototype of the cognitive model of the process

Figure 2 – Two-stage discretization of the process cycle based on the functional cycle of Jakob von Uexküll

Figure 3 – Three-stage discretization of the process cycle, mapped to the day-year demarcation of the phase trajectory

Figure 4 – Six-stage structure of the process

Figure 5 – Map of English words in the projection of the process-semantic plane in the 300-dimensional space of the word2vec language model

Figure 6 – Alternative process-causal models of the event “A bought a cart from B”

References

- [1] **Borgest NM.** Boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(1): 7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] **de la Barriere P.** Cours D'Automatique theoretique. Dunos: Paris. 1966.
- [3] **Bellman R, Kalaba R.** Dynamic programming and modern control theory. New York: Academic Press, 1966.
- [4] **Brushlinsky AV.** Psychology of thinking and cybernetics [In Russian]. Moscow: Mysl, 1970.
- [5] **Orrell D.** The Future of everything. The Science of Prediction. Basic books, 2007.
- [6] **Bouchaud JP.** Economics needs a scientific revolution. *Nature*. 2008; 455(7217): 1181. DOI:10.1038/4551181a.
- [7] **Bouchaud JP.** The (unfortunate) complexity of the economy. *Physics World*. 2009; 22(04). DOI:10.1088/2058-7058/22/04/39.
- [8] **Orrell D.** Economyths: Ten Ways That Economics Gets It Wrong. *International Journal of Social Economics*. New Jersey: Wiley, 2011; 38(9): 821–822. DOI:10.1108/03068291111157267.
- [9] **Quiggin J.** Zombie Economics: How Dead Ideas Still Walk among Us. Princeton University Press, 2010.
- [10] **Kitto K.** High end complexity. *Int. J. Gen. Syst.* 2008; 37(6): 689–714. DOI:10.1080/03081070701524232.
- [11] **White JG. et al.** The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 1986; 314(1165): 1–340. DOI:10.1098/rstb.1986.0056.
- [12] **Larson SD, Gleeson P, Brown AEX.** Connectome to behaviour: Modeling *Caenorhabditis elegans* at cellular resolution. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2018; 373(1758): 8–10. DOI:10.1098/rstb.2017.0366.
- [13] **Cook SJ. et al.** Whole-animal connectomes of both *Caenorhabditis elegans* sexes. *Nature*. Springer US, 2019; 571(7763): 63–71. DOI:10.1038/s41586-019-1352-7.

- [14] **von Uexküll J.** A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds. *Semiotica*. Walter de Gruyter, 1992; 89(4): 319–391. DOI:10.1515/semi.1992.89.4.319.
- [15] **von Uexküll J.** A foray into the worlds of animals and humans: With a theory of meaning. University of Minnesota Press, 2010.
- [16] **Belov MV, Novikov DA.** Fundamentals of the theory of complex activities. Part. 2. Life cycles of complex activity. Organization and control as complex activity [In Russian]. *Control Sciences*. 2018; 4: 39–48. DOI:10.25728/pu.2018.5.5.
- [17] **Berg DB, Ulyanova EA, Dobryak PV.** Models of life cycle: a coursebook [in Russian]. Ekaterinburg: Ural University Press, 2014. 74 p.
- [18] Communiqué: Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle. *Ontology Summit 2013* / ed. Neuhaus F. et al.
- [19] **Young G.** Development, Stages, and Causality. *Causality and Neo-Stages in Development*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P.21–42. DOI:10.1007/978-3-030-82540-9_2.
- [20] **Gulino P.** Screenwriting: the sequence approach. London: Continuum, 2004.
- [21] **Wagenmakers EJ, Dutilh G, Sarafoglou A.** The Creativity-Verification Cycle in Psychological Science: New Methods to Combat Old Idols. *Perspect. Psychol. Sci.* 2018; 13(4): 418–427. DOI:10.1177/1745691618771357.
- [22] **Zyabrikova AV, Zyabrikov VV.** Optimal trajectory of cognitive cycle of a company [In Russian]. *Problems of modern economics*. 2014. P.123–127.
- [23] **Lester DL, Parnell JA, Carraher S.** Organizational life cycle: A five-stage empirical scale. *Int. J. Organ. Anal.* 2003; 11(4): 339–354. DOI:10.1108/eb028979.
- [24] **Biemer SM, Sage AP.** Systems Engineering: Basic Concepts and Life Cycle. *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. Weinheim: Wiley-VCH, 2010. P.145–171. DOI:10.1002/9783527627783.ch5.
- [25] **D'Ambrogio A, Durak U.** Setting systems and simulation life cycle processes side by side // ISSE 2016 - 2016 Int. Symp. Syst. Eng. - Proc. Pap. IEEE, 2016. DOI:10.1109/SysEng.2016.7753139.
- [26] **Steinert M, Leifer L.** Scrutinizing Gartner's hype cycle approach. *Technol. Manag. Glob. Econ. Growth*. 2010. P.254–266.
- [27] **Buijs J.** Modelling Product Innovation Processes, from Linear Logic to Circular Chaos. *Design*. 2003; 12(2): 76–93. DOI:10.1111/1467-8691.00271.
- [28] **Borgest NM.** Role of ontology in design of informational systems [In Russian]. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems*. OSTIS-2014, Minsk: BSUIR, 2014. P.155-160.
- [29] **Patten BC, Odum EP.** The Cybernetic Nature of Ecosystems. *Am. Nat.* 1981; 118(6): 886–895. DOI:10.1086/283881.
- [30] **Dufour Y, Steane P, Corriveau AM.** From the organizational life-cycle to “ecocycle”: a configurational approach to strategic thinking. *Asia-Pacific J. Bus. Adm.* 2018; 10(2/3): 171–183. DOI:10.1108/APJBA-05-2018-0095.
- [31] **Podsorin VA, Haritonova AV.** Economical methods for controlling the life cycle of production and social systems [In Russian]. Moscow: MGUPS, 2016. 78 p.
- [32] **Pavlov NV.** Product life cycle management [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University 2014. 219 p.
- [33] **Mylnikov LA.** About structure-functional modeling of processes with specified subject of control [In Russian]. *NTI Seria 22*. 2022. № 2. DOI:10.36535/0548-0027-2022-02-2.
- [34] **Belov MV.** Optimal control of lifecycles of complex products, objects, systems [In Russian]. *Control sciences*. 2022; 1: 19–32. DOI:10.25728/pu.2022.1.2.
- [35] **Ziemke T.** The body of knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition. *BioSystems*. Elsevier Ireland Ltd, 2016; 148: 4–11. DOI:10.1016/j.biosystems.2016.08.005.
- [36] **Clark A.** Embodied, embedded, and extended cognition. // *The Cambridge Handbook of Cognitive Science* / ed. Frankish K., Ramsey W. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. P.275–291. DOI:10.1017/CBO9781139033916.018.
- [37] **Lakoff G.** The Invariance Hypothesis: is abstract reason based on image-schemas? *Cogn. Linguist.* 1990; 1(1): 39–74. DOI:10.1515/cogl.1990.1.1.39.
- [38] **Piantadosi ST.** The Computational Origin of Representation. *Minds Mach.* Springer Netherlands, 2021; 31(1): 1–58. DOI:10.1007/s11023-020-09540-9.
- [39] **Sundakov VV.** The Secrets of Russian language [In Russian]. Moscow: AST, 2021. 670 p.
- [40] **Dukhanov A. et al.** A Systemically Synergistic Approach to the Design of Integrative Advanced Training Courses in the Field of Cross-Cutting Technologies. 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). P.1–9. DOI:10.1109/FIE49875.2021.9637425.
- [41] **Borgest NM.** Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022. 12(2): 136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [42] **Sollaci LB, Pereira MG.** The introduction, methods, results, and discussion (IMRAD) structure: A fifty-year survey. *J. Med. Libr. Assoc.* 2004; 92(3): 364–367.

- [43] **Wu J.** Improving the writing of research papers: IMRAD and beyond. *Landsc. Ecol.* 2011; 26(10): 1345–1349. DOI:10.1007/s10980-011-9674-3.
- [44] **Zipf GK.** The Unity of Nature, Least-Action, and Natural Social Science. *Sociometry.* 1942; 5(1): 48–62.
- [45] **Rosch E.** Principles of Categorization. *Cognition and categorization* / ed. Rosch E.H., Lloyd B.B. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1978. P.27–48. DOI:10.1016/B978-1-4832-1446-7.50028-5.
- [46] **Wiener N.** Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. MIT Press. 1961.
- [47] **Novikov DA.** Cybernetics (navigator) [In Russian]. Moscow: Lenand, 2015. 160 p.
- [48] **Haykin S.** Cognitive dynamic systems: Perception–Action cycle, radar, and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. DOI:10.1017/CBO9780511818363.
- [49] **Lagerspetz KYH.** Jakob von Uexküll and the origins of cybernetics. *Semiotica.* 2001; 134: 643–651. DOI:10.1515/semi.2001.047.
- [50] **Young G.** Stimulus–Organism–Response Model: SORing to New Heights // Unifying Causality and Psychology. Cham: Springer International Publishing, 2016. P.699–717. DOI:10.1007/978-3-319-24094-7_28.
- [51] **Field S.** Screenplay: The Foundations of Screenwriting. New York: Delta, 2005. 309 p.
- [52] **Brütsch M.** The three-act structure: Myth or magical formula? *J. Screenwriting.* 2015; 6(3): 301–326. DOI:10.1386/josc.6.3.301_1.
- [53] **Gat E.** On Three-Layer Architectures. *Artif. Intell. Mob. Robot.* 1997. P.195–210.
- [54] **Siegel M.** The sense-think-act paradigm revisited // 1st International Workshop on Robotic Sensing, 2003. ROSE’03. IEEE, 2003. № June. P. 5. DOI:10.1109/ROSE.2003.1218700.
- [55] **Belov MV.** Problems of life cycles management of organization-technical systems [In Russian]. *Control in social and technical systems.* 2018. C.117–172. DOI:10.25728/ubs.2018.76.5.
- [56] **Doblin J.** A Short, Grandiose Theory of Design. *STA Des. J.* 1987; 1: 6–16.
- [57] **Novikov DA.** Structure of control theory of socio-economical systems [In Russian]. *Control of large systems.* 2009; 24: 216–257.
- [58] A fairly general theory of management. Staged materials of the training course of the Faculty of Applied Mathematics - Management Processes of St. Petersburg State University [In Russian]. St. Petersburg, 2011. P.228.
- [59] **Miller GA.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.* 1956; 63(2): 81–97. DOI:10.1037/h0043158.
- [60] **Eco U, Sebeok TA.** (eds.) The Sign of three: Dupin, Holmes, Peirce. Indiana University Press, 1983. 256 p.
- [61] **Surov I.** Opening the black box: finding Osgood’s semantic factors in word2vec space. *Informatics and Automation*, 2022, Issue 21, Vol. 5, 916–936. DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.21.5.3>.
- [62] Google Code Archive. Pretrained word2vec model GoogleNews-vectors-negative300.bin.gz [Electronic resource]. 2013. <https://code.google.com/archive/p/word2vec/>.
- [63] **Mikolov T et al.** Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. NIPS’13 Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2013.
- [64] **Surov IA.** Quantum core affect. Color-emotion structure of semantic atom. *Front. Psychol.* 2022; 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.838029.
- [65] **Pally R.** The predicting brain: Unconscious repetition, conscious reflection and therapeutic change. *Int. J. Psychoanal.* 2007; 88(4): 861–881. DOI:10.1516/B328-8P54-2870-P703.
- [66] **Behrens TEJ et al.** Learning the value of information in an uncertain world. *Nat. Neurosci.* 2007; 10(9): 1214–1221. DOI:10.1038/nn1954.
- [67] **Bubic A, von Cramon D, Schubotz RI.** Prediction, cognition and the brain. *Front. Hum. Neurosci.* 2010; 4(March): 1–15. DOI:10.3389/fnhum.2010.00025.
- [68] **Clark A.** Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behav. Brain Sci.* 2013; 36(3): 181–204. DOI:10.1017/S0140525X12000477.
- [69] **Barrett LF, Simmons WK.** Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* Nature Publishing Group, 2015; 16(7): 419–429. DOI:10.1038/nrn3950.
- [70] **Greve P.F.** The role of prediction in mental processing: A process approach. *New Ideas Psychol.* Elsevier Ltd, 2015; 39: 45–52. DOI:10.1016/j.newideapsych.2015.07.007.
- [71] **Vityaev E, Pak B.** Prototypes of the “natural” concepts discovery. *Cogn. Syst. Res.* 2021; 67: 1–8. DOI:10.1016/j.cogsys.2020.12.005.
- [72] **Whitehead AN.** Process and reality. New York: The Free Press, 1929. 413 p.
- [73] **Lepsky VE.** Systems approach in social and economic cybernetics [In Russian]. *System analysis in economics* 2018. P.353–356. DOI:10.33278/SAE-2018.rus.353-356.
- [74] **Lepsky VE, Arshinov VI.** (eds.) On the way to postnonclassic conceptions of control [In Russian]. Moscow: Institute of philosophy RAS, 2005.
- [75] **Lepsky VE.** Economical cybernetics of developing media (cybernetics of the third order) [In Russian]. *Control sciences.* 2015; 46: 22–33.

- [76] **Lepsky VE.** Reflexivity in control of social systems (philosophic-methodological analysis) [In Russian]. *Philosophy of science and texhnology*. 2021; 26(2): 127–147. DOI:10.21146/2413-9084-2021-26-2-127-147.
- [77] **Osgood CE.** The nature and measurement of meaning. *Psychol. Bull.* 1952; 49(3): 197–237. DOI:10.1037/h0055737.
- [78] **Osgood CE.** On the whys and wherefores of E, P, and A. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1969; 12(3): 194–199. DOI:10.1037/h0027715.
- [79] **Surov IA.** Quantum model of subjective semantics [In Russian]. *HYSIS Proceedings* / ed. Kolesnikov AV. 2022. P.205–212.
- [80] **Surov IA.** Natural Code of Subjective Experience. *Biosemiotics*. 2022; 15(2): 109–139. DOI:10.1007/s12304-022-09487-7.
- [81] **Petrenko VF.** Fundamentals of psychosemantics [In Russian]. 3rd ed. Moscow: Eksmo, 2010. 480 p.
- [82] **Petrenko VF, Mitina OV.** Political psychology. Psychosemantic approach [In Russian]. *Socium*, 2018. 592 p.
- [83] **Yanshin PV.** Color sociometry. Study of emotional state of a group [In Russian]. *Proc. of MGPU 2010*. P.278–288.
- [84] **Aitken S., Curtis J.** A Process Ontology // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2002; DOI:10.1007/3-540-45810-7_13.
- [85] **Kassel G.** Physical processes, their life and their history. *Appl. Ontol.* 2020; 15(2): 109–133. DOI:10.3233/AO-200222.
- [86] **Guarino N, Oberle D, Staab S.** What Is an Ontology? // *Handbook on Ontologies* / ed. Staab S., Studer R. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. P.1–17. DOI:10.1007/978-3-540-92673-3_0.
- [87] **Borgest NM, Korovin MD.** Ontologies: present state, short survey [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013. 2: 49–55.
- [88] **Volchenkov EY.** The ontology of anthropogenic systems: Information aspects. *Sci. Tech. Inf. Process.* 2011; 38(3): 173–179. DOI:10.3103/S0147688211030117.
- [89] **Guarino N.** Understanding, building and using ontologies. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 1997; 46(2–3): 293–310. DOI:10.1006/ijhc.1996.0091.
- [90] **Borgest NM.** Key terms of the ontology of designing: survey, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3: 9-31.
- [91] **Green S, Southee D, Boulton J.** Towards a design process ontology. *Des. J.* 2014; 17(4): 515–537. DOI:10.2752/175630614X14056185480032.
- [92] **Fuster JM.** Upper processing stages of the perception–action cycle. *Trends Cogn. Sci.* 2004; 8(4): 143–145. DOI:10.1016/j.tics.2004.02.004.
- [93] **dos Santos França J.B. et al.** KIPO: the knowledge-intensive process ontology. *Softw. Syst. Model.* Springer Berlin Heidelberg, 2015; 14(3): 1127–1157. DOI:10.1007/s10270-014-0397-1.
- [94] **Borgest NM.** Scientific basis of ontology of designing [In Russian]. *Ontologies of designing*. 2013; 1: 7–25.
- [95] **Valkman YR, Tarassov VB.** From ontologies of designing to cognitive semiotics [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 8–34. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-8-34.
- [96] **Lepsky VE.** Formation of strategic actors in the global information society: problem statement [in Russian] // *Informational society*. 2002; 1: 50–58.
- [97] **Leshkevich TG.** The problem of subjectivity and the subjectless state of Russia in the context of the economocentricity of the modern era [In Russian]. *Scientific Thought of the Caucasus*. 2012; 2: 12–20.
- [98] **Merzlykov AA.** The Problem of Subjectivity in the Sociology of Management [in Russian]. *Sociologicheskaya Nauka i Socialnaya Praktika*. 2018; 24(4): 95–104. DOI: 10.19181/snsp.2018.6.4.6087.
- [99] **Jaeger J, Monk N.** Everything flows. A process perspective on life. *EMBO Rep.* 2015; 16(9): 1064–1067. DOI:10.15252/embr.201541088.
- [100] **Nicholson DJ, Dupre J.** (eds.) *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford University Press, 2018.
- [101] **Selivanov VV.** The theory of thinking as a process: an experimental confirmation [In Russian]. *Exp. Psychol.* 2019; 12(1): 40–52. DOI:10.17759/exppsy.2019120104.

About the author

Ilya Alekseevich Surov (b. 1990) graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology in 2013, Ph.D. (2016). Associate Professor at ITMO University. The list of scientific papers includes more than 25 papers in the field of quantum physics, decision making, cognitive-behavioral modeling and semantic data analysis. Author ID (RSCI): 819354; Author ID (Scopus): 57219761715; Researcher ID (WoS): J-3796-2015. ilya.a.surov@itmo.ru.

Received September 15, 2022. Revised October 24, 2022. Accepted November 16, 2022.



Построение онтологии фундаментальных понятий на основе трансдисциплинарного подхода

© 2022, А.М. Фаянс

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

Аннотация

Описываются процедуры применения трансдисциплинарного подхода к выработке формулировок фундаментальных понятий и к построению онтологии этих понятий. Проведён анализ терминологических и содержательных составляющих, необходимых для такого применения. Установлена роль состояния гармонии, как критерия наличия положительных и отрицательных тенденций при оценивании рассматриваемой ситуации. Применение технологии выработки формулировки и построения онтологии показано на примере понятия «любовь». Отмечено, что в основе любви лежат положительные тенденции в состоянии гармонии, а также ряд других существенных признаков. Предложены формулировки ряда понятий, связанных с любовью. На основании полученных результатов определено место систем искусственного интеллекта в формируемом целостном построении, указаны ограничения на потенциальные возможности таких систем. Трансдисциплинарная технология носит универсальный характер и может быть применена, в том числе и в области онтологий. Статья предназначена для специалистов, интересующихся целостной онтологической картиной на уровне фундаментальных понятий.

Ключевые слова: понятие, смысл, формализация, трансдисциплинарный подход, онтология, искусственный интеллект.

Цитирование: Фаянс А.М. Построение онтологии фундаментальных понятий на основе трансдисциплинарного подхода // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.454-469. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-454-469.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Актуальность взгляда на онтологию, как на конструктивный способ познания, не вызывает сомнений. Этому способствует эффективность её практических применений во многих областях знаний, в том числе использование в качестве указателя актуальных задач и путей формализации методов их решения, включая предельно достижимую компьютеризацию этих методов. На это явно указывают Коммюнике Онтологического Саммита 2021 [1], а также публикации в журнале «Онтология проектирования», среди которых следует отметить редакционные статьи и комментарии.

В последнее время значительное внимание уделяется работам в области создания систем сильного (общего) искусственного интеллекта (СИИ)¹. В комментарии редакции журнала «Онтология проектирования» к статье А.Д. Редозубова [2] подчёркивается, что эта область «привлекает огромное количество специалистов из разных областей, стремящихся переложить бремя принятия решений на создаваемые машины». Сказанное особенно касается вопросов проектирования - важного этапа в решении любых задач, вне зависимости от того, относится ли это к проектированию методов решения, средств реализации методов, режимов эксплуатации средств и т.п.

¹ Журнал продолжает дискуссию на поднятую в нём ранее тему проектирования позитивных отношений, которые актуальны для создаваемых СИИ. Данная статья тому подтверждение. Ждём развития идей на страницах журнала. *Прим.ред.*

Поскольку подобные вопросы интересуют специалистов разных предметных областей (ПрО), использующих разную терминологию, по-разному рассматривающих и обосновывающих используемые методы, значимым становится умение преодолевать стыковые барьеры наук и даже выходить за пределы известных знаний. Другими словами, требуется взглянуть на проблему с трансдисциплинарных позиций, потенциально способных выходить за рамки *любой* дисциплин. Применительно к СИИ значимо умение определить границы, в которых допустимо функционирование таких систем.

Желание использовать высокоэффективные средства ИИ в человеческой деятельности вызывает потребность в исследовании возможности формализации фундаментальных понятий (например, смысл, знания, формализация, любовь, война, мир) и затем компьютеризации оперирования с ними. На это, в частности, было обращено внимание редакцией журнала «Онтология проектирования» [3, 4].

Значимость исследований в указанном направлении становится важной с точки зрения допустимости включения соответствующих процедур в создаваемые искусственные системы, учитывая возможные, в том числе, моральные и этические ограничения.

Традиционное направление опирается на интуицию, опыт, здравый смысл и выполненный на их основе анализ. Этому направлению присущи трудности, связанные с множественностью существующих точек зрения на рассматриваемые понятия и, как следствие, нечёткость и неоднозначность в толкованиях, что обусловлено действиями, как правило, с внешними (очевидными) признаками рассматриваемых понятий, а не с обуславливающими их причинами. При создании логически прозрачного механизма, отвечающего этому направлению, необходимо преодолевать указанные трудности, что требует значительных ресурсов.

Другое направление базируется на построениях, связанных с целостным, научно обоснованным мировоззрением. Вариант этого направления, обозначенный как трансдисциплинарный подход (далее Подход) [5, 6], предлагается использовать для исследования фундаментальных понятий, выработки соответствующих определений и формирования онтологий таких понятий. Подход предусматривает в общем случае выполнение четырёх этапов:

- 1) выявление сути понятия и её формулирование в терминах однозначно толкуемых понятий;
- 2) родовое обобщение – неоднократный логически обоснованный переход к более общему уровню, предусматривающий исключение из указанных в исходной формулировке менее существенных признаков при условии применимости возможностей родового уровня к видовым по отношению к нему уровням;
- 3) рассмотрение возможностей определения понятия на высшем из достигнутых уровней обобщения;
- 4) движение «вниз» - перенос возможностей, выявленных на родовых уровнях, на подчинённые ему по иерархии (видовые) уровни с добавлением возможностей, обусловленных спецификой видовых уровней.

Следование технологии Подхода позволило сформировать общую мировоззренческую картину, включающую в себя иерархию видов единичных, выработать однозначно толкуемые отличительные признаки (а, следовательно, и формулировки) таких понятий, как «творчество», «смысл», «задача», «метод решения задачи», сформировать онтологию общих методов решения задач [5].

Построения, реализуемые в рамках Подхода, носят открытый характер, теоретически допускающий формирование счётного множества выявляемых единичных, включающего и упомянутые фундаментальные понятия. Однако с практической точки зрения такой путь формирования трудоёмок, поэтому малопривлекателен. Подход позволяет использовать и другой путь – строгое следование обозначенным в нём этапам, а именно: отталкиваясь от

первоначальной формулировки рассматриваемого понятия, выполнить его анализ, родовое обобщение (возможно, вплоть до уровня Всеобщего – «целостного, способного к внутренним изменениям, отличное от которого не существует» [5]), исследовать понятие на высшем уровне и пройти в обратном направлении к исходному понятию. Следование по такому пути позволяет, избегая формирования упомянутого счётного множества, выявить истоки происхождения тех или иных понятий, определить место этих истоков в целостной классификации [6], сформировать однозначно толкуемые определения и либо проверить их на непротиворечивость устоявшимся определениям, либо выявить возникшие противоречия и разрешить их.

Применительно к формализации, столь значимой с позиций создания искусственных систем, допускается полный или частичный её вариант. Полная формализация – это сведение всех процедур формирования описания, анализа и синтеза к регулярным процедурам, реализуемым конечным автоматом. Частичная – есть использование субъектом, с его естественным интеллектом и чувствами, возможностей конечных автоматов, в том числе и СИИ, например, в режиме симбиоза или синергии. На потенциальную эффективность формализации прямо указывают колоссальные возможности конечных автоматов в хранении и обработке информации, а также использовании результатов формализации для разнообразных целей, выдвигаемых субъектами или искусственными системами.

Условием формализуемости является выполнение требований однозначности толкования рассматриваемых понятий (возможно в вероятностных отношениях), отражающего содержание, вкладываемое в заданной ситуации в каждое понятие. Только в этом случае могут автоматически формироваться их всевозможные комбинации, образуя сложные понятия с опорой на иерархию этих понятий и возможные горизонтальные связи с учётом вкладываемого в них содержания.

Цель настоящей работы - рассмотреть применение технологии Подхода к формулировке и построению онтологии фундаментальных понятий.

Общим вопросам оперирования понятиями с позиций Подхода посвящён раздел 1. В разделе 2 рассмотрены основные фундаментальные понятия и их место в целостной картине. Третий раздел посвящён иллюстрации применения технологии Подхода на примере понятия «любовь»: выработке определения, построению онтологии этого понятия и рассмотрению специфики выстроенной онтологии.

1 Возможности оперирования понятиями

Первоначально формой выражения содержания того или иного единичного является его *описание*: словесная, звуковая, изобразительная или иная форма, доступная восприятию и, желательно, осознанию и осмыслению субъектом. Здесь *субъект* – активное единичное, способное к творчеству, т.е. выходу в своих действиях за рамки определённых правил.

Понятие есть единство мысли субъекта об определённом, возможно абстрактном, объекте и содержания этой мысли, фиксирующего существенные, т.е. независимые характеристики, позволяющие отделить этот объект от прочих.

Содержание – воспринятая, осознанная и осмысленная информация о сторонах единичного, отделяющая его от прочих, и указывающая его место в целостном построении.

Смысл – это самое важное в воспринятой, осознанной и понятой информации о сторонах единичного, достаточное для оценки значимости единичного с точки зрения потребностей субъекта или субъектов.

При таком толковании смысл в значительной степени привязан к ситуации и к её оценке субъектом, а словосочетание «вкладываемый в понятие смысл» предполагает по умолчанию

наличие соответствующего субъекта и отвечающих ему потребностей. Именно поэтому следует различать смысл и содержание, имея в виду, что содержание в общем случае шире смысла, поскольку не обязательно привязано к потребностям субъекта.

Условие удобства изложения при многократном использовании одного и того же описания с необходимостью приводит к появлению *термина* – краткого обозначения, применение которого по умолчанию подразумевает указание на образ или на описание, с которым связывается этот термин.

Часто понятие рассматривается как единство термина и вкладываемого в него смысла. С позиций Подхода это неверно, поскольку понятие в практическом отношении суть описание отличительных свойств, как правило, кратко обозначенное термином, безотносительно к вкладываемому в понятие смыслу.

Стремление к разумному сокращению числа используемых терминов приводит к появлению многозначных терминов, в которые в зависимости от ситуации, вкладывается тот или иной смысл. Непродуманное употребление таких терминов может привести к подмене понятий, когда вкладываемый в выражение смысл намеренно или неумышленно искажается или приобретает черты неоднозначности.

Очевидный путь преодоления многозначности – это раскрытие содержания термина путём неразрывного присоединения к нему однозначно толкуемого дополнения в виде описания (краткого или полного контекста, в частности, с использованием других терминов). Процедура такого уточнения может носить многоуровневый характер. Этот метод обеспечения однозначности используется в толковых словарях, опирающихся на накопленный опыт и сложившуюся практику применения термина.

В целостном построении формирование термина следует привязывать к иерархии этого построения, которая содержит возможности однозначного обозначения понятий: а) через термины, отвечающие пути от Всеобщего до конкретного единичного; б) через уточнение родового термина более высокого уровня; в) через связь терминов, относящихся к разным ветвям иерархии. Последняя возможность приводит к появлению горизонтальных связей, являющихся причиной многозначности термина. Характерным примером неоднозначности обозначения является графическое изображение, показанное на рисунке 1, на котором одному и тому же изображению отвечают два различных вкладываемых в них содержания.

Указанная многозначность не всегда носит неприемлемый характер, поскольку возможность неоднозначного толкования открывает путь к парадоксальным высказываниям, основанным на интерференции содержаний (смыслов) или, напротив, игре на возникающей противоречивости.

В настоящей статье термины привязываются к понятиям с выполнением требования однозначности используемого описания и его толкования. Опора на использование термина без его однозначной привязки к вкладываемому в него содержанию (смыслу) в данном случае является неприемлемым.

Таким образом, следование Подходу предполагает необходимость для каждого понятия вычленить его *основное, однозначно толкуемое* содержание, вкладываемое в него подавляющим большинством субъектов в сходной ситуации, обозначить это содержание определённым термином, возможно с обязательной контекстной детализацией. Допускается использование этого термина и для обозначения понятий, отвечающих иному качеству, но исключительно в качестве косвенного средства, позволяющего придать дополнительные смысловые

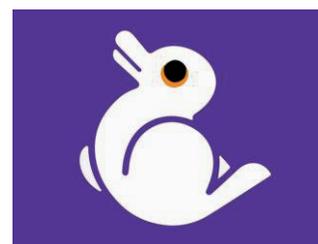


Рисунок 1 – Заяц или утка?

особенности трактовки понятия (например, «беречь, как зеницу ока» – как самое дорогое и легкоранимое).

В рассматриваемом построении термин, предлагаемый для обозначения определённого понятия, *подбирается* (желательно с учётом сложившихся трактовок) под выделяемое понятие, а не наоборот. Это позволяет избежать возникновения возможных неоднозначностей в трактовках, способных привести к подмене понятий.

2 Основные фундаментальные понятия

В [5] в связи с природой характеристик единичных выделены понятия «*реальное*» (объективно существующее материальное и духовное), «*нереальное*» (мнимое, отделённое от реального) и «*псевдореальное*» (нефизическое и/или псевдодуховное), адекватно выражающее реальное через нереальное (примером псевдореального является информационная модель). Здесь *адекватность* - соответствие псевдореального отвечающей ему объективной реальности, *объективность* - независимость от особенностей восприятия субъекта и его взглядов, в отличие от *субъективности* – существенной зависимости от восприятия и взглядов конкретного субъекта или сообщества мыслящих субъектов.

Творческие начала, реализуемые в материальном мире, следует искать либо в духовном мире и далее, в естественном воздействии на тело субъекта, либо в искусственном воздействии на душу или тело субъекта. Из целостности построения следует, что творческие начала, реализуемые в духовном мире, следует искать либо в материальном мире, либо в искусственном воздействии на душу или тело субъекта.

Понятие *нужда* в [5] толкуется как ненасыщаемый недостаток субъекта в необходимом, а *потребность* понимается как насыщаемый недостаток субъекта. При этом *цель* - это желаемое состояние субъекта, в котором нужда или потребность (по крайней мере, временно) исчезают. *Цель* может быть как осознанной, так и неосознанной, *задача* – это явно или неявно выраженная необходимость действий или бездействия, ориентированных на исчезновение нужды или потребности. При указании цели решаемой задачи все предпринимаемые способы её решения приобретают целенаправленный характер.

В психологии [7] под *эмоцией* понимается краткосрочная мгновенная реакция человеческой психики на раздражитель. Базовые эмоции: страх, интерес, радость, печаль, злость (гнев), отвращение, удивление, безразличие. Внешними признаками появления эмоций являются выражение лица, жесты, интонация. *Чувство* трактуется (и, соответственно, проявляется), как сложное единство эмоций. Например, чувство любовь может проявляться в таких эмоциях, как радость, интерес и т.п. Эмоцией целесообразно обозначить простейшую психическую реакцию субъекта на воздействие на него материального и/или духовного мира.

Эмоциональное отношение субъекта к жизненной ситуации во многом зависит от особенностей субъекта, его психического состояния. В обществе мыслящих субъектов вследствие выработанных в нём этических и моральных норм имеются признаки, позволяющие установить положительный или отрицательный характер тех или иных взглядов и действий.

Имеется ли объективный критерий определения положительности или отрицательности отношения к тому или иному событию, действию или чему-либо иному? Для ответа на этот вопрос следует вернуться к видам единичных и их жизненному пути, на котором выделяются появление единичных, их существование и исчезновение, а также к энергетическому фундаменту реализации возможностей Всеобщего. К этому следует добавить присущую субъектам память в качестве хранилища накопленного опыта. Предпочтительность только процессов появления единичных, равно как и процессов их сохранения, приводит в пределе к достижению предела энергетических возможностей Всеобщего. А предпочтительность только про-

цессов исчезновения приводит в пределе к ликвидации не только отдельных единичных, но и их видов, что приведёт к полному хаосу.

Вывод из сказанного один – постулированным в [5] принципам Всеобщего отвечает только энергетически обусловленный баланс между процессами возникновения, существования и исчезновения. Этот баланс может в определённые периоды нарушаться, но он обязательно восстанавливается, возможно, в иных формах и пропорциях. Возникающие при этом формы баланса можно обозначить, как его состояние. Рассматриваемый баланс не статичен, находится в постоянном изменении, хотя и допускает длительные периоды стабильности.

Наиболее близкий по содержанию термин для обозначения упомянутого баланса – *гармония*, а для нарушения баланса – *дисгармония*. Согласно [8] гармония определяется как «категория, отражающая закономерный характер развития действительности, внутреннюю и внешнюю согласованность, цельность и соразмерность содержания и формы эстетического объекта», согласно [9] «гармония (созвучие, согласие) – соответствующая эстетическим законам согласованность частей в расчленённом целом».

Автор предлагает свой вариант критерия оценки единичного по отношению к балансу, а именно: *если единичное способствует восстановлению нарушенной гармонии, то его следует считать положительным (по отношению к этой гармонии), если оно способствует разрушению имеющейся гармонии, то отрицательным, и, наконец, если единичное индифферентно к состоянию имеющейся гармонии, то безразличным*.

Приведённое определение во многом согласуется со шкалой эмоциональных тонов². При этом убыванию соответствующих оценок по умолчанию отвечает переход от положительных к отрицательным эмоциям через безразличие. Упомянутую шкалу можно применить в равной степени и к положительным, и к отрицательным состояниям.

В своём развитии виды единичных проходят путь от отдельных единичных к появлению совокупностей единичных – к множествам, классам, родам, видам (сообществам). Для каждого из них можно рассматривать гармонию в локальном смысле применительно к каждому из образующихся сообществ. Если предметы материального мира и не осознающие субъекты полностью вписаны в состояние гармонии Всеобщего, то для определённого осознающего субъекта или сообщества таких субъектов идеалом становится внутренняя гармония субъекта или гармония в этом сообществе. При этом к фактам нарушения локально понимаемой гармонии в других субъектах или сообществах может проявляться противодействие, стимулирование противодействия или безразличие, что способно нарушить гармонию Всеобщего.

Следует отметить связь проявления творческих способностей субъекта и гармонии, в частности в области проектирования. В состоянии дисгармонии творческие способности субъекта угнетаются, а проектирование – это не только ремесло (умелое использование полученных навыков), но и выработка ранее не известных решений, которая и есть творчество. Поэтому успешное проектирование возможно только в состоянии, по крайней мере, локальной гармонии и в самом проектировщике, и в его ближайшем окружении (среде).

Таким образом, понятие гармонии применительно к Всеобщему объективно, тогда как это же понятие применительно к осознающему единичному или совокупности таких единичных приобретает субъективные черты.

² Шкала тонов. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/491857>.

3 Взгляд на понятие «любовь» с позиций трансдисциплинарного подхода

«Все знают, что она есть, и никто не знает, что это такое»

М. Веллер. *О любви*. 2006

Понятие «любовь» с учётом вкладываемых в него смыслов настолько многогранно и многопланово, что формирование его однозначно толкуемого содержания только на основе опыта затруднительно.

Согласно [10, 11] любовь толкуется как интимное и глубокое чувство, устремлённость на другую личность, человеческую общность или идею. В [8] любовь определяется, как стремление друг к другу, предполагающее в своём существовании уважение друг друга (под это толкование не подпадает безответная любовь). Упомянутые описания сути любви не касаются глубинных причин, порождающих любовь, и ограничиваются только указаниями на ряд свойств, присущих различным видам любви.

В работе [12], посвящённой онтологическим основаниям любви, она рассматривается, как «пространство, в котором обитает человеческое в человеке». Такое определение весьма расплывчато. В [13] рассматриваются: дефицитарная любовь (проявляемая, как любовный голод); эгоистичная любовь; бытийная любовь, ориентированная на другого человека, как ценность, лишённая эгоистичности; романтическая любовь (через «жизнь чувств»). Виды любви рассматриваются также в работе [14]. Следует отметить, что речь идёт не о строгой формулировке, а об определённой систематизации видов любви, как правило, выполненной по субъективно выделенным основаниям.

В статье [15], согласно предложенной авторами методологии формализации понятий, любовь рассматривается, как «переживание и, возможно, демонстрация позитивного предпочтения предмета любви и его особого места в картине мира субъекта». Следует отметить отсутствие критерия позитивности, без которого любовь начинает трактоваться на основе интуитивных соображений, и толкование понятия становится весьма расплывчатым.

В статье [16] предложено рассмотрение видов любви со следующих позиций:

- видов любви, рассматриваемых в философских и религиозных трудах;
- систематизации видов любви с психологических и социологических аспектов;
- химических (гормональных) видов воздействия на человека, стимулирующих появление определённых эмоций и чувств.

Применительно к различным видам искусства способы представления любви в этой работе предлагается рассматривать, отталкиваясь от философских позиций с учётом специфики видов искусства: художественная литература, музыка, кино, театр. При этом формулировка понятия любовь и причины его появления не рассматриваются, а используются определённые предметные онтологии, которые все вместе образуют онтологически значимую картину, но лишённую целостной основы.

Из публикаций на данную тему следует отметить редакционную статью в журнале «Онтология проектирования» [3], в которой сформулированы основные проблемы в построении онтологии любви, в том числе и вопросы формализации соответствующих понятий и операций с ними, значимые при проектировании систем СИИ.

Продвигаемый в данной работе взгляд с позиций Подхода требует выявления и осмысления глубинных причин, лежащих в основе понятия любви.

В качестве исходного определения любви можно воспользоваться наиболее близкой автору формулировкой, приведённой в оксфордском словаре³: «*a very strong feeling of liking and caring for somebody/something, especially a member of your family or a friend*» («очень сильное чувство симпатии и заботы о ком-то (чём-то), особенно о члене вашей семьи или друге»).

³ Love. https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/love_1?q=love.

В этой формулировке следует выделить следующие признаки: чувство симпатии, наличие заботы, источника любви и объекта любви, выделение семейных и дружеских отношений. В данном определении также неявно предполагается положительный характер любовных отношений.

Первому шагу обобщения отвечает переход от семейных и дружеских отношений к любым видам отношений, сохранение указания на чувственный характер любви, положительный характер этого чувства, толкование понятия забота, как действия или намерения действовать в положительном (с эмоциональной точки зрения субъекта) направлении.

В предыдущем разделе приведено толкование чувства, как комбинации эмоций. Это означает, что в основе любви лежат положительные эмоции, которые присущи только осознанным субъектам. А положительный или отрицательный характер эмоций определяется осознанием субъектом состояния гармонии.

Следующие этапы обобщения состоят в переходе от субъекта к любому единичному и далее к Всеобщему. На этих, самых высоких уровнях обобщения следует рассмотреть возможность существования понятия любовь, но уже в ситуации, когда субъекта может и не быть (при этом исчезает и понятие субъективной любви).

Итоги обобщения. Существенным признаком любви следует признать её положительный характер, что отвечает стремлению к усилению гармонии через готовность к *активным* действиям, обеспечивающим стремление к такому состоянию⁴. При этом положительной следует считать ситуацию, когда реализация факторов создания, развития и сохранения носит первичный характер, а факторы исчезновения (уничтожения, ослабления) либо подчинены первым, либо не являются преобладающими. Указанный критерий положительности применим и на субъективном уровне, расположенном ниже по иерархии.

Важным качеством любви является её бескорыстность, очевидная для Всеобщего, но не обязательная для другого случая. Значимым признаком является её естественный характер, исключающий случаи активного воздействия на объект любви путём жёсткого, против его воли, принуждения, к чисто формальному проявлению внешних признаков любви.

Учёт факта наличия единичных во Всеобщем даёт основание разделить источник любви и объект любви (любовь Всеобщего к самому себе в силу его целостности смысла не имеет).

Путь конкретизации до уровня осознанных субъектов, приводит к констатации проявления любви через яркую эмоциональную окрашенность (чувство). Очевидно, что богатство видов любви проявляется, начиная именно с этого уровня.

Сказанное позволяет определить *любовь*, как *естественную бескорыстную готовность источника любви к действиям (созиданию, охранению, заботе) по созданию и/или поддержанию (для осознанных субъектов вплоть до самопожертвования) условий восстановления (в частности, самовосстановления) гармонии по отношению к объекту любви и к реализации таких действий.*

Замечание. Если любовь, отвечающая субъективному состоянию гармонии, вступает в противоречие с любовью, отвечающей объективному состоянию гармонии или гармонии на более высоком уровне обобщения, то приоритет следует отдать любви на более высоком уровне, ибо только в этом случае приносится меньший ущерб гармонии Всеобщего. Таким образом, виды любви могут ранжироваться, равно, как и выступать относительно независимо, и даже противоречить друг другу.

Автор не настаивает на приведённой формулировке и предлагает принять её за основу, которая может быть усовершенствована в процессе дискуссии.

⁴ Пассивному созерцанию гармонии более отвечает понятие сентиментальность, но не любовь.

3.1 Виды любви и её онтология

Сформулированное определение позволяет отличить любовь от имитации любви (даже если эта имитация словесно обозначается этим словом); одним из наиболее значимых признаков любви следует признать бескорыстность.

Соответственно *нелюбовь* – отрицание любви. Нелюбовь (например, безразличие, неприязнь) – корыстное или бескорыстное чувство, не способствующее гармонии или разрушающее её. Для Всеобщего нелюбовь – это временное препятствование появлению дисгармонии, создание и поддержка дисгармонии или стремление к этому.

Возможность ранжирования любви по степени готовности к действиям приводит к выводу о возможности градаций внутри определённого вида любви. Например, любовь к одному ребенку может быть сильнее любви к другому ребенку.

Объектом любви может быть любое единичное, тогда как в роли источника любви (за исключением Всеобщего) могут стать только единичные, обладающие духовной компонентой, осознающей гармонию, а именно, мыслящие и эмоционально чувствующие субъекты. Основанием для данного вывода является тот факт, что действия, присущие субъекту, как источнику любви, предполагают осмысленное отношение к гармонии не только в текущий момент, но и с учётом событий, происшедших в прошлом или предполагаемых в будущем.

Симпатия, влечение, страсть, доверие, энтузиазм сопутствуют любви, но не идентичны ей. Ревность - вид нелюбви, поскольку отражает корысть, состоящую в боязни потери объекта, воспринимаемого как собственность. Искусственное стимулирование чувств и тем более принуждение не обязательно приводит к любви, чаще наоборот.

Субъект, являющийся объектом любви и при этом сам способный выступать в качестве источника любви, обладает возможностью проявлять ответную любовь, отзываясь, таким образом, на любовь, направленную на него. Всегда, исключая случай с Всеобщим, состояние гармонии, как правило, рассматривается источником любви с собственных позиций, а в случае ответной любви источник любви и объект любви выступают солидарно, гармонизируясь друг с другом.

Для Всеобщего состояние любви является естественным состоянием, несмотря на допустимость возможных неестественных временных, порой существенных нарушений гармонии. Этому отвечает отмечаемый в философии такой вид любви, как *agape* – божественная любовь к сущему [14, 16], направленная от Всеобщего ко всем видам единичных, а не только к человеку. При этом несубъекты и неосознающие субъекты, будучи полностью подчинены процессам во Всеобщем и его состоянию, не могут любовь божественную осознать, тогда как осознающие (и, тем более, мыслящие) субъекты проявление божественной любви воспринимают через положительные эмоции – психологические и физиологические реакции на наличие и/или восстановление гармонии: в частности, удовольствия, наслаждения, радости от возможности существования и продолжения рода, обеспечивающего появление и существование единичных. При этом единство конечности жизненного пути единичного и божественной любви обеспечивает возможность обновления мира при соблюдении энергетической эффективности процесса достижения гармонии.

Для каждого вида мыслящих субъектов и для каждого такого субъекта имеют место свои особенности восприятия состояния гармонии и, соответственно, свои виды любви. Вполне допустимы ситуации, когда гармония с позиций одного мыслящего субъекта не является таковой с позиций другого мыслящего субъекта. В результате могут возникнуть конфликтные ситуации, требующие своего разрешения для достижения общей гармонии.

Взгляд с позиций гармонии делает очевидной справедливость или несправедливость позиций сторон конфликта – через отношение к восстановлению гармонии или усугублению дисгармонии. Если справедливость с позиций одной локальной гармонии рассматривается

как несправедливость с позиций другой локальной гармонии, то оценку знака действий по разрешению этого противоречия следует искать во взгляде с позиций иерархически расположенных выше гармоний, вплоть до объективной гармонии Всеобщего.

В силу естественно присущей Всеобщему стремлению к гармонии, сторона с объективно несправедливой позицией стратегически всегда терпит поражение, хотя тактически она может и одержать временную победу. При этом тактически победа стороне с объективно справедливой позицией не гарантирована: она может потерпеть поражение, однако в силу внутренней природы Всеобщего впоследствии обязательно возникнут новые единичные, в частности, субъекты, формирующие и/или воссоздающие гармонию.

Тенденция к разрушению гармонии играет важную роль: это испытание данного состояния гармонии на жизнестойкость. В случае успеха испытание укрепляет его, а в случае неудачи приводит к изменениям во взаимодействии видов единичных во Всеобщем, которое далее начинает выступать как новый вид гармонии.

Термин, наиболее близкий по своей сути к осознанию мыслящим субъектом состояния гармонии в своей среде – «счастье». Счастье с рассматриваемых позиций – это отражение осознания гармонии в себе, а на более высоких уровнях обобщения – также и в своей среде. При этом осознание того, что предпринимаемая активность приводит к дисгармонии в среде субъекта, напрямую влияет на внутреннюю гармонию этого субъекта.

Термин для обозначения воспринятого нарушения такой гармонии - «несчастье». Далее в зависимости от возможности активных действий по устранению такой дисгармонии можно прийти к понятиям «неприятность», понимаемое, как несущественное несчастье, «горе» - как поправимое существенное несчастье, и «беда» - как непоправимое существенное несчастье, с которым можно только смириться, принять его, как неизбежную данность. При этом необходимо иметь в виду, что стремление к субъективному счастью может породить разрушение чужой субъективной гармонии.

Радость трактуется как эмоция, отвечающая удовлетворению желаемого⁵, а, следовательно, субъективному ощущению гармонии, а удовольствие – как эмоция, отражающая движение к гармонии или момент её достижения хотя бы в какой-либо части⁶. В свете сказанного понятие «нравиться» отражает положительное отношение к объекту, что даёт основание в ряде ситуаций использовать термин «любить» в качестве значения «очень нравится» (например, «я люблю поесть»). Совершенно ясно, что при этом понятие «нравиться» вовсе не тождественно понятию «любить», хотя придание термину «нравиться» обогащающих его обертонов, исходящих от понятия «любовь», в данном случае очевидно.

Очевидна тесная связь гармонии с понятиями этика и мораль, ориентированными на формирование положительных тенденций создания и сохранения гармонии в сообществе мыслящих субъектов.

С позиций Подхода субъект вообще, а мыслящий субъект в особенности, является мостом между духовным и материальным мирами, на который способны оказывать влияние внешние воздействия, то открывается возможность влиять на субъект пассивно (помещая его в определённую среду) или активно (подвергая агитации, пропаганде, просвещая, дрессируя, обучая, используя химические препараты, в частности, психотропные средства, методы физического воздействия). Это влияние способно изменять восприятие субъектом локальной гармонии как в положительную сторону, стимулируя его стремление к укреплению состояния гармонии, так и в отрицательную сторону – в сторону разрушения такого состояния.

С позиций объективной гармонии вполне допустимо использование внешнего воздействия на субъект в ограниченных дозах, не разрушающих его, как личность, оставляющей за

⁵ См. <https://kartaslov.ru/значение-слова/радость>.

⁶ Ср.: в [10] удовольствие - чувство, переживание, сопровождающее удовлетворение потребности или интереса.

ним определённую долю личного пространства, область, запретную для внешнего воздействия (область суверенности личности). И с этих же позиций следует крайне осторожно использовать воздействие на субъекта(ов), разрушающего(их) личное пространство, способное превратить его(их) в послушный инструмент в руках лиц или сообществ, стремящихся разрушить объективную гармонию для обеспечения собственной субъективной гармонии.

Романтическая любовь согласно [17] рассматривается, как идеализация, при которой «объект любви наделяется какими-то исключительными положительными качествами, внешней привлекательностью, внутренней красотой, обаянием и т.д. настолько, что отношение к объекту любви берёт верх над всеми иными чувствами» или искусственно строятся оправдания для неблагоприятных поступков объекта любви. Романтическая любовь с позиций данной работы не является отдельным видом любви, а только конкретизацией, применимой к любому виду любви, и состоящей в идеализации источником любви объекта любви в пользу приписываемых последнему положительных, возможно, мнимых качеств. Сказанное можно полностью отнести и к такому понятию, как «слепая любовь», которое чаще всего используется при описании отношения к своим детям.

Любовь, присущая субъекту-индивидууму на высшем уровне обобщения – это любовь между мыслящим субъектом и его окружением (средой), которая проявляется, в частности, в форме любви к Родине (*сторге*). На этом уровне среда, выступая в качестве источника любви, способствует росту патриотизма у объекта любви.

Среда конкретизируется путём разбиения на группы. При этом возникает любовь к индивидууму со стороны группы, проявляемая, как коллективное чувство совокупности мыслящих субъектов. Такая любовь проявляется, как стимулирование чувства нужности, причастности к этой группе.

Присущие мыслящему субъекту занятия в определённой сфере деятельности порождают и соответствующий вид любви, проявляющийся в профессионализме и мастерстве. Обратная любовь в этом случае – признание со стороны субъектов, профессионально занимающихся или интересующихся этой сферой деятельности в регионе, стране, мире.

Существование религиозных направлений обуславливает наличие соответствующих групп, в рамках которых возникает любовь между членами определённого культа.

Идеологическое единство (например, лежащее в основе политических партий) приводит к любви по общей идеологии, любви к партии и к её членам.

Для групп, образующих социальный класс, возникает любовь, имеющая в своём основании принадлежность группе по социальным, экономическим и властным признакам.

Для стран и присущих им формам государственного правления может возникнуть такой вид любви, как любовь между государством и его гражданином.

Теоретически возможны и другие виды любви между субъектом и группой, определяемой характеристиками этой группы.

Более сложным видом являются отношения любви между разными группами, представляемыми, как целостные образования. Это бескорыстное коллективное чувство, полностью отвечающее вышеприведённому определению. В качестве примера можно привести любовь, лежащую в основе существования волонтерской организации к сфере применения её усилий, например, к группам больных детей или стариков.

Семья - небольшое по численности сообщество, способное производить и/или воспитывать детей⁷. В рамках такой группы может возникнуть семейная любовь, предполагающая любовь в отношении членов семьи, включая и предков, и потомков (любовь к своему роду).

⁷ В [18] семья определяется, как круг лиц, связанных личными неимущественными и имущественными правами и обязанностями, вытекающими из брака, родства, усыновления или иной формы принятия детей в этот круг лиц.

Простейшими частями среды являются индивидуумы. Любовь между мыслящими субъектами (людьми) проявляется в гендерных, дружеских и сексуальных отношениях.

Эскиз онтологии любви, отвечающей Подходу, представлен на рисунке 2. Виды любви образуют сеть, в основе которой лежит иерархия, дополненная связями, когда одни виды любви связаны с другими её видами. Приведённое здесь построение онтологии любви является попыткой вторжения в это фундаментальное понятие с целью выявления максимально достижимых формальных возможностей идентификации любви и выработки эффективных действий по её сохранению и усилению, как отражения гармонии во Всеобщем. В предложенную онтологическую конструкцию вписываются известные систематизации видов любви.



Рисунок 2 – Эскиз онтологии любви

В выполненном исследовании понятие любовь опирается на понятие «гармония», что позволяет установить её связь с многими понятиями и процессами, значимыми и во Всеобщем.

щем, и в частной, и в общественной жизни субъектов: с такими понятиями, как «радость», «наслаждение», «счастье», «этика», «мораль»; показывает возможность разделить положительные и отрицательные тенденции в состояниях и происходящих процессах и на основе этого указать в целостном построении место и роль сложных систем, включая и системы искусственного интеллекта.

3.2 Об искусственном интеллекте с позиций любви

В основе систем СИИ лежат формализованные алгоритмы, способные за приемлемое время решать задачи, которые за это же время естественный интеллект решить не в состоянии. Очевидно, что если формальный алгоритм способен решить задачу, то человек также может решить эту задачу, следуя тому же алгоритму: просто для этого понадобятся значительное время, возможно превышающее время жизни человека, и значительные ресурсы.

Принципиальным здесь является то, что никакой конечный автомат не в состоянии оценить объективно изменчивое состояние гармонии, которое не поддаётся полной формализации, поскольку он опирается исключительно на сбор, анализ и переработку информации по законам формальной логики.

Искусственные, даже весьма сложные системы, – это только инструмент, высококачественный и скоростной, значительно расширяющий возможности субъекта и/или сообществ субъектов, высвобождающий творческие способности от сопутствующих нетворческих процессов. Результаты применения таких инструментов определяются положительной или отрицательной политикой использующего их субъекта и/или сообщества субъектов.

Из полученных результатов следует, что СИИ в общем случае отличить любовь от нелюбви не может! Исключением является период стабильности и предсказуемости состояния гармонии. Причина этого в том, что алгоритмы в СИИ не могут гарантировать учёт существенных изменений состояния гармонии в периоды нестабильности, и, как следствие, не в состоянии установить наличие признаков, указанных в определении любви.

Однозначная формулировка фундаментального понятия и построение его онтологии, опирающиеся на логику целостного построения, открывают потенциальную возможность использования СИИ для оценки степени реализуемости рассматриваемого понятия в конкретной ситуации и выработки рекомендаций по направлениям действий для достижения целей, определённых мыслящим субъектом или сообществом таких субъектов.

Заключение

Представленное в работе исследование базируется на индуктивно-дедуктивной технологии Подхода, опирающегося на использование однозначно толкуемых описаний и краткого их обозначения, в частности, в виде терминов. Выдвинутое условие однозначности привело к необходимости сформулировать требования к выработке необходимой терминологии, опирающейся в первую очередь на содержание понятий, вытекающее из целостного построения и, вторично, на практику применения известных терминов.

Следование технологии Подхода позволило выделить понятие гармонии, как основы критерия положительности или отрицательности текущего состояния, а также прийти к утверждению о центральной роли гармонии в формировании появления ряда фундаментальных понятий.

Применение предложенной технологии показано на примере понятия любовь. Предложена формулировка этого понятия и эскизно набросана его онтология. Установлены общие и отличительные признаки связанных фундаментальных понятий «любовь», «счастье», «ра-

дость», «удовольствие» и их антиподов «несчастье», «горе», «беда». Предлагаемая технология Подхода может быть применена и к другим фундаментальным понятиям.

Список источников

- [1] **Баклавски К., Беннет М., Берг-Кросс Г., Шнайдер Т., Септала С., Шарма Р., Шрирам Р.Д., Вестеринен А.** Онтологический Саммит 2021. Коммюнике: генерация и гармонизация онтологий / Перевод с англ. Д. Боргест // *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №4(42). С.533-548. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-533-548.
- [2] **Редозубов А.Д.** Формализация смысла. Часть 1. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №2(40). С.144-153. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-144-153.
- [3] *От редакции.* Онтология любви или проектирование позитивных отношений. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №3(41). С.257-259.
- [4] *От редакции.* Война и мир: онтологические основания. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №1(43). - С.5-10.
- [5] **Фаянс А.М., Кнеллер В.Ю.** Об онтологии видов задач и методов их решения. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №3(37). С.273-295. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-3-273-295.
- [6] **Фаянс А.М.** Взгляд на формализацию смысла с позиций трансдисциплинарного подхода. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №3(41). С.294-308. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-3-294-308.
- [7] **Васильева И.** Об эмоциях и чувствах. <https://psychology.sredaobuchenia.ru/felling>.
- [8] Философская энциклопедия (в 5 томах). Под ред. Ф. В. Константинова, 1960-1970 гг. <http://philosophy.niv.ru/doc/encyclopedia/philosophy/index.htm>.
- [9] Философский энциклопедический словарь. 2010. <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/philosophy/index.htm>.
- [10] Философия. Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Ивина. М.: Гардарики. 2004.
- [11] Философский энциклопедический словарь / Гл. ред. П.Л. Ильичев, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалев, В.Г. Панов. М.: Советская энциклопедия. 1983. <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/philosophical/index.htm>.
- [12] **Леонтьев Д.А.** Онтология любви: за пределами слова и чувства // От события к бытию: грани творчества Галины Иванченко / сост. М.А. Козлова. М.: ГУ-ВШЭ, 2010. С.71-102. <http://flogiston.ru/library/maslow>.
- [13] **Маслоу А.** Мотивация и личность. СПб.: Евразия, 1999. С.77–105
- [14] **Moseley A.** Philosophy of Love [excerpts]. 20.05.2016. <https://essaydocs.org/philosophy-of-love-excerpts-by-alexander-moseley-the-nature-of.html>.
- [15] **Филимонов В.А., Чернявская В.С.** Формализация одушевлённости на примере понятия «любовь». *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №1(43). С.11-24. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-11-24.
- [16] **Языкова Т.В., Захарова А.А., Петрова Д.С., Копачинская А.Е., Киселева Н.М., Казакова Л.И.** Love is the same for everyone, or is it: концептуализация понятия «любовь» в различных предметных областях. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №1(43). С.25-40. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-25-40.
- [17] Романтическая любовь. https://psychology_pedagogy.academic.ru/15310/Романтическая_любовь.
- [18] **Сухарев А.Я., Крутских В.Е., Сухарева А.Я.** Большой юридический словарь. М.: Инфра-М. 2003. <http://law.niv.ru/doc/dictionary/big-legal/index.htm>.

Сведения об авторе

Фаянс Александр Михайлович, 1948 г. рождения. Окончил Московский физико-технический институт в 1972 г. Научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва. В списке научных трудов более 30 работ и изобретений в области измерительной техники и преобразования информации. Author ID (РИНЦ): 766983. Author ID (Scopus): 57006695900. alfayans@mail.ru.



Поступила в редакцию 27.09.2022, после рецензирования 18.11.2022. Принята к публикации 11.21.2022..



Building an ontology of fundamental concepts based on a transdisciplinary approach

© 2022, A.M. Fayans

VA Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia

Abstract

The procedures for applying a transdisciplinary approach to the development of formulations of fundamental concepts and to the construction of the ontology of these concepts are described. The analysis of the terminological and content components necessary for such an application is carried out. The role of the state of harmony is established as a criterion for the presence of positive and negative trends in assessing the situation under consideration. The application of technology for formulating and building an ontology is shown on the example of the concept of "Love". It is noted that love is based on positive trends in a state of harmony, as well as a number of other essential features. The formulations of a number of concepts related to love are proposed. Based on the results obtained, the place of artificial intelligence systems in the formed integral construction was determined, the restrictions on the potential capabilities of such systems were indicated. The transdisciplinary technology is universal and applicable to all areas in which research is carried out, including in the field of ontologies. The article is intended for specialists interested in a holistic ontological picture at the level of fundamental concepts..

Key words: *concept, meaning, formalization, transdisciplinary approach, ontology, artificial intelligence.*

For citation: *Fayans AM.* Building an ontology of fundamental concepts based on a transdisciplinary approach [In Russian]. *Ontology of designing.* 2022; 12(4): 454-469. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-454-469.

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

List of figures

Figure 1 - Hare or duck?

Figure 2 - Sketch of the ontology of love

References

- [1] **Baklavsky K, Bennett M, Berg-Cross G, Schneider T, Seppala S, Sharma R, Sriram RD, Vesterinen A.** Ontology Summit 2021. Communiqué: generation and harmonization of ontologies. Translation from English. D. Borgest [In Russian]. *Ontology of designing.* 2021; 11(4): 533-548. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-533-548.
- [2] **Redozubov AD.** Formalization of meaning. Part 1 [In Russian]. *Ontology of designing.* 2021; 11(2): 144-153. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-144-153.
- [3] **Editorial.** Ontology of love or designing positive relationships [In Russian] *Ontology of designing.* 2021; 11(3): 257-259.
- [4] **Editorial.** War and peace: ontological foundations [In Russian]. *Ontology of designing.* 2022; 12(1): 5-10.
- [5] **Fayans AM, Kneller VYu.** On ontology of types of tasks and methods of their solution [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(3): 273-295. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-3-294-308.
- [6] **Fayans AM.** A look at the formalization of meaning from the standpoint of a transdisciplinary approach [In Russian]. *Ontology of designing.* 2021; 11(3): 294-308. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-3-294-308.
- [7] **Vasilyeva I.** About emotions and feelings [In Russian]. <https://psychology.sredaobuchenia.ru/felling>.
- [8] Philosophical encyclopedia (in 5 volumes). Ed. F. V. Konstantinova, 1960-1970. <http://philosophy.niv.ru/doc/encyclopedia/philosophy/index.htm>.
- [9] Philosophical Encyclopedic Dictionary [In Russian]. 2010. <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/philosophy/index.htm>.
- [10] Philosophy. Encyclopedic Dictionary. Ed. A.A. Ivin [In Russian]. Moscow: Gardariki. 2004.
- [11] Philosophical Encyclopedic Dictionary. Ch. ed. P.L. Ilyichev, P.N. Fedoseev, S.M. Kovalev, V.G. Panov. [In Russian]. Moscow: Soviet Encyclopedia. 1983. <http://philosophy.niv.ru/doc/dictionary/philosophical/index.htm>.

- [12] **Leontiev DA.** Ontology of love: beyond words and feelings. From event to being: facets of Galina Ivanchenko's creativity [In Russian]. Moscow: GU-HSE, 2010. P.71-102.
- [13] **Maslow A.** Motivation and personality [In Russian]. St. Petersburg: Eurasia, 1999. P. 77–105.
- [14] **Moseley A.** Philosophy of Love [excerpts]. 20.05.2016. <https://essaydocs.org/philosophy-of-love-excerpts-by-alexander-moseley-the-nature-of.html>.
- [15] **Filimonov VA, Chernyavskaya VS.** Formalization of animation on the example of the concept of "love" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 11-24. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-11-24.
- [16] **Yazykova TV, Zakharova AA, Petrova DS, Kopachinskaya AE, Kiseleva NM, Kazakova LI.** Love is the same for everyone, or is it: conceptualization of the concept of "love" in various subject areas. [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 25-40. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-25-40.
- [17] Romantic love [In Russian]. https://psychology_pedagogy.academic.ru/15310/romantic_love.
- [18] **Sukharev AYa, Krutskikh VE, Sukharev AYa.** Big law dictionary [In Russian]. Moscow: Infra-M. 2003. <http://law.niv.ru/doc/dictionary/big-legal/index.htm>.
-

About the author

Alexander Mikhailovich Fayans (b. 1948) graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology in 1972. Researcher of VA Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS. He is the author or a co-author of more than 30 publications and inventions in the field of measurement techniques and transformation information processes. Author ID (RSCI): 766983. Author ID (Scopus): 57006695900. alfayans@mail.ru.

Received September 27, 2022. Revised November 18, 2022. Accepted November 21, 2022.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 37.02:004

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-470-480



Трансформация онтологии образования: от классно-урочной системы к смарт-инновациям

© 2022, А.В. Соловов✉, А.А. Меньшикова

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

Аннотация

Мир в 21-ом веке изменяется как материально, так и ментально. Производственные отношения в образовании уже не соответствуют развитию производительных сил «умных» технологий. Цель статьи – анализ социальных и дидактических аспектов современных и перспективных тенденций в сфере образования с точки зрения его развития от онтологических традиций классно-урочной системы к онтологии инноваций смарт-образования. Рассмотрены основные факторы и потребности, ведущие к инновационным изменениям в системе образования: адекватность технологий, использование в экономике, в повседневной жизни людей и в образовании; доступность и комфортность процессов получения образования; необходимость перехода от стандартов содержания образования к его вариативности при сохранении базовой подготовки; отказ от классов, жёсткого расписания, «страшилок» экзаменов и строгих ограничений сроков обучения; уход от многопредметности; главенствующая роль обучающегося; появление и развитие новых функций преподавателя; индивидуализация и персонификация обучения с использованием искусственного интеллекта. Показано, что совокупность современных и перспективных инноваций, обусловленных социальными потребностями и технологическими факторами, ведёт к эволюции системы образования от концептов традиционной классно-урочной системы не только к смарт-инструментам учебной деятельности, повышающим качество учебного процесса, но и к новой перспективной образовательной парадигме смарт-образования.

Ключевые слова: смарт-общество, смарт-образование, классно-урочная система, образовательная парадигма, индивидуальные образовательные траектории, персонификация обучения.

Цитирование: Соловов А.В., Меньшикова А.А. Трансформация онтологии образования: от классно-урочной системы к смарт-инновациям // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.470-480. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-470-480.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Одна из главных идей дидактики классно-урочной системы обучения Яна Амоса Коменского заключена в его фразе: «Основой преобразований школ является точный порядок во всём» [1, с. 64]. Среди базовых организационных принципов в онтологии классно-урочной системы можно выделить следующие:

- единый для всех учебный план;
- обучение в одновозрастных и примерно равноподготовленных группах;
- урок как основная форма обучения;
- многопредметность;
- ведущая роль учителя;
- передача информации как базовая концепция обучения;

- жёсткое расписание;
- итоговое оценивание.

Эти организационные основы образовательного процесса ассоциируют с индустриальными XIX и XX столетиями, когда у государств была потребность готовить «стройные ряды» исполнительных работников для фабричного производства. Ведь даже учебная аудитория нередко является имитацией фабричного помещения, где стоят парты будто стройный ряд рабочих станков. Классно-урочную систему обучения часто связывают со школьным образованием. Но в университетах, по сути, преобладает такая же организация учебного процесса. Лекционно-семинарская система вузовского обучения является лишь своеобразным её вариантом, поскольку фактически строится на тех же теоретических основаниях [2].

Времена изменились, и цифровая экономика требует не добросовестных исполнителей, а образованных людей, не только приспособившихся к меняющемуся миру, но и изменяющих этот мир [3]. Один из основателей корпорации *Apple* Стив Джобс говорил об этом так: «Нет смысла нанимать толковых людей, а затем рассказывать им, что делать. Мы нанимаем людей, чтобы они рассказали, что делать нам»¹.

Образование сегодня имеет ряд целей, которые не могут быть удовлетворены за счёт передачи информации, в том числе обучение решению проблем, развитие интуиции, творческих способностей [4]. Различные инновации в сфере образования в последние годы выходят за рамки традиционной классно-урочной системы. Преимущественно, хотя и не всегда, эти инновации связаны с цифровыми технологиями. И нередко их стали объединять под общим названием *смарт-обучение*, или более широко – *смарт-образование*. Часть исследователей трактует *смарт-технологии* (*смарт-образование*) в качестве инструментов образовательной деятельности, которые способствуют повышению качества учебного процесса [5]. Некоторые же интерпретируют *смарт-образование* уже как новую парадигму [6].

Аббревиатура *SMART* (*Self Monitoring Analysis and Reporting Technology*, пер. с англ.: «Технология самостоятельного контроля, анализа и отчётности») появилась в электронной технике². Этот термин, сохраняя первоначальный смысл данной аббревиатуры, применяют для обозначения «умных» устройств, позволяющих адаптировать их к потребностям пользователя в ходе эксплуатации, в частности, *смарт-телефоны*, *часы*, *телевизоры* и т.д. *Смарт-технологии* переходят в разряд приоритетных инноваций, способных определить следующий за информационным этап развития общества [7].

Мир изменяется не только материально, но и ментально. Попытки втиснуть потребности современной экономики и индивидуальные устремления людей в прокрустово ложе стандартов содержания и процессов классно-урочной системы обучения непродуктивны. Производственные отношения в образовании уже не соответствуют развитию производительных сил *смарт-технологий* (рисунок 1).

Цель данного исследования – анализ социальных и дидактических аспектов современных и перспективных тенденций в сфере образования с точки зрения его развития от онтологических традиций классно-урочной системы к онтологии инноваций *смарт-образования*. В основу исследования положены методы системного анализа, педагогической психологии и дидактики, многолетний опыт авторов в сфере образования, теории и технологий электронного обучения.

¹ <https://ru.citaty.net/tsitaty/477646-stiv-dzhobs-ne-imeet-smysla-nanimat-tolkovykh-liudei-a-zatem-r/>.

² <https://ru.wikipedia.org/wiki/S.M.A.R.T.>

1 Адекватность используемых технологий

Существенным компонентом концепции смарт-общества является смарт-работа, открывающая любому трудоспособному человеку возможность сотрудничать одновременно с разными работодателями, трудиться в удобном для себя режиме по индивидуальному графику (в том числе удалённо).



Рисунок 1 – Эволюция технических средств обучения

Приходя на обучение из дома, где уже используются смарт-устройства, с работы, где процессы базируются на электронном документообороте, использовании систем автоматизации профессиональной деятельности, инструментов электронной торговли и т.п., люди вправе рассчитывать на адекватные технологические подходы и в учебном процессе.

2 Доступность и комфортность

Смарт-образование позволяет реализовать возможность учиться (и учить) тому, что необходимо, в любое удобное для обучающихся (и преподавателей) время, в любом удобном для обучающихся (и преподавателей) месте. Благодаря такой концепции обучения у многих категорий населения появляется больше возможностей получить регулярное образование, повысить свою квалификацию, получить или сменить профессию. Доступность образования становится важнейшим фактором повышения общекультурного уровня значительной части человечества. Этому способствует электронный образовательный контент, размещённый в глобальных компьютерных сетях, в частности, массовые открытые онлайн-курсы (МООК).

3 От стандартов содержания к его вариативности

Стандарты содержания образования обычно определяет государство, особенно когда оно финансирует учебные заведения. В советском и позже, в российском образовании, всегда была потребность в некоторых вариативах в виде различных профильных школ (ныне гимназий и лицеев): физико-математических, биологических, медико-технических и др., с углублённым изучением иностранных языков, информационных технологий и т.п. В ВУЗах вариативности

тивы содержания реализовывались в виде специализаций или индивидуальных учебных планов.

Содержание профессионального образования нередко отстаёт от развития экономики, что приводит к дисбалансу подготовки выпускников и реальных потребностей общества. Всё более значимыми становятся индивидуальные образовательные устремления людей, не всегда совпадающие с государственными потребностями.

Рынок дополнительного профессионального образования отреагировал на появившийся дисбаланс подготовки в учебных заведениях и реальных потребностей работодателей очень оперативно. Появилось множество краткосрочных курсов, готовящих к «сиюминутной» работе, проводящих переподготовку, в том числе и в сфере технологических, часто цифровых инноваций. Вследствие чего стала снижаться престижность университетского фундаментального образования.

Государственные органы управления образованием и университеты пытаются вписаться в указанные тенденции лично-ориентированного развития и вариативности содержания. Все более активно вводятся курсы по выбору. Широкое распространение получила система подготовки 4+2 (бакалавриат и магистратура). Обсуждается даже система 2+2+2, что позволит ещё ранее (после двух лет обучения) сменить выбранный профиль профессиональной подготовки.

Следует особо выделить концепцию *STEM* (*science, technology, engineering and mathematics* – наука, технология, инженерия и математика³), которая даёт хорошие возможности для профессиональной диверсификации на протяжении всей жизни человека [8]. Это реально показала практика российских 90-х и 2000-х годов, когда выпускники высокотехнологичных ВУЗов, получив в программах специалитета фундаментальное образование достаточно успешно меняли профиль своей профессиональной деятельности. Всё более популярной становится и концепция *STEAM*, где буква «А» (от англ. *Art*, искусство) символизирует гуманитарную составляющую в образовательном фундаменте.

4 Отказ от классов и жёсткого расписания

Одним из важнейших социально-экономических преимуществ современного электронного дистанционного обучения (ЭДО) является возможность учиться (и учить) в удобном месте и в удобное время. Применение мобильных устройств (смартфонов, планшетов, ноутбуков и т.п.), возможность практически повсеместного доступа в Интернет создают хорошие предпосылки для свободного выбора места и времени учебной работы. Преподаватели в условиях мобильного обучения используют смарт-устройства для оперативного реагирования на вопросы обучающихся и управления их учебной работой.

В настоящее время в ЭДО выделяют два основных дидактических подхода к взаимодействию обучающихся и преподавателей: синхронное и асинхронное по времени. Первый подход копирует традиционную классно-урочную систему в виртуальных классах с использованием систем видеоконференцсвязи (ВКС). Массовый опыт использования синхронного удалённого обучения в период пандемии продемонстрировал его явную несостоятельность. Цифровизация обучения — это не перевод лекций и семинаров из аудитории в ВКС. Переход в онлайн не может быть простым копированием очного обучения и требует пересмотра методики учебной работы [9].

Второй подход в ЭДО в существенной мере ориентирован на самостоятельную познавательную деятельность учащихся с использованием специально подготовленных цифровых

³ <https://ru.wikipedia.org/wiki/STEM>.

образовательных ресурсов (ЦОР) [10]. Взаимодействие учащихся между собой и с преподавателем осуществляется преимущественно асинхронно по времени с помощью различных электронных телекоммуникаций. Это взаимодействие важно, но не имеет решающего значения для восприятия, осмысления и закрепления знаний, поскольку все этапы когнитивного процесса реализуются в ходе самостоятельной индивидуальной работы учащихся с ЦОР. Такой режим работы более удобен для обучающихся и преподавателей, но предъявляет высокие требования к предварительной подготовке учебных материалов [11].

Таким образом, первый подход более высокие требования предъявляет к подготовке и проведению собственно дистанционного учебного процесса в виртуальных классных комнатах, второй – к предварительной подготовке учебных материалов. С экономической точки зрения первый подход более расточителен, поскольку трудоёмок, требует высокой квалификации преподавателей. К тому же он неудобен, как для обучающихся, так и для преподавателей. При втором подходе небольшая группа высококвалифицированных преподавателей-разработчиков может подготовить развитое учебно-методическое обеспечение, которое затем могут использовать многие преподаватели (тьюторы⁴).

Многие годы в практике ЭДО использовали преимущественно второй подход, особенно в России с её традициями централизации в разработке ЦОР. В условиях пандемии коронавируса в образовательных учреждениях произошёл переход к преимущественному применению синхронного ЭДО на основе сервисов ВКС. Учебные заведения, имеющие опыт ЭДО и создавшие определённый задел ЦОР по преподаваемым дисциплинам, продолжают удалённое обучение и в асинхронном режиме.

Синхронный режим ЭДО, наряду с обычными недостатками классно-урочной системы (ориентация на учащихся среднего уровня, ограниченные возможности для индивидуальной работы и оперативной диагностики уровня усвоения и др.) привносит ещё и сложности управления учебной работой обучающихся в виртуальном классе. Трудней становится мотивировать обучающихся к учебной работе и контролировать её. Непривычный характер виртуальной учебной работы утомляет больше, чем работа в реальном классе, как обучающихся, так и преподавателей. Возникает синдром «эмоционального выгорания» преподавателей [9].

В большинстве учебных заведений в начале перехода к удалённым формам обучения использовался виртуальный вариант обычного классно-урочного учебного процесса, в котором ничего не нужно было менять в методиках обучения. Ряд преподавателей дополняли синхронные занятия в виртуальных классах асинхронными взаимодействиями с использованием электронной почты, облачных хранилищ, мобильных систем и социальных сетей. Достаточно было опереться на технические средства обучающихся и преподавателей, снабдив их лишь технологиями ВКС.

Если относиться к электронным технологиям обучения лишь как к инструментам, то они не оправдают ожиданий, более того, негативные последствия их применения не заставят себя долго ждать [11]. Поэтому важны разработка, исследование и грамотное внедрение новых эффективных методов обучения, адекватных современным технологическим средствам ЭДО.

5 Отказ от «страшилок» экзаменов

Экзамены – это, нередко, самые главные воспоминания об учёбе в школе и ВУЗе. Для многих учащихся учёба, именно «благодаря» экзаменам, становится не вполне приятным делом, перекрывающим радости познания нового.

Любопытно высказывание Л.Н. Толстого об университетских экзаменах: «Как скоро существуют экзамены с их настоящим устройством, переводные или выпускные — это всё

⁴ <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тьютор>.

равно, непременно должно существовать и бессмысленное долбление, и лотерея, и личное расположение, и произвол профессора, и обман студентов» [12].

Первые опыты применения ЭВМ в учебном процессе в 70-е, 80-е годы прошлого столетия начинались с автоматизации контроля знаний. Но до сих пор многие преподаватели считают своими главными функциями чтение лекций и приём экзаменов, предпочитая ЭДО традиционные формы учебного процесса, в частности экзамены. Хотя существуют многочисленные системы асинхронного компьютерного тестирования, возможность применения ВКС на экзаменах и даже систем электронного прокторинга⁵, отслеживающих списывание.

Страх, волнение и тревога - это те эмоции, которые чаще всего возникают у испытуемых на экзамене. В серии интервью и анкетных исследований с участием старшеклассников и студентов университетов тревога была эмоцией, которая составила 27% всех эмоциональных эпизодов, переживаемых в различных академических ситуациях (посещение класса, учёба и сдача тестов и экзаменов) [13]. Многие студенты не любят учиться именно из-за экзаменов. Это не только негативно влияет на текущее обучение, но и ограничивает возможности и интерес к будущему обучению. Проблема списывания и мошенничества на экзаменах и прочих контрольных мероприятиях в существенной мере присуща классно-урочной системе, ориентированной на массовое обучение и базирующейся на лекциях и контроле.

Система обучения, условно называемая в педагогике Репетитором, базируется не на оценке, а на индивидуальной помощи учащимся, выводя каждого на требуемый уровень обученности. Таким же потенциалом обладает и дидактически грамотно построенное электронное обучение. Электронный репетитор, в отличие от репетитора-человека, не устаёт, не нервничает, относится ко всем одинаково, доступен в любое время, в любом месте и т.п.



Рисунок 2 – Схема взаимодействия педагога, учащегося и компьютера в электронном обучении

Электронный репетитор с развитыми обратными связями (ОС) тоже будет задавать вопросы, давать задачи, но лишь для того, чтобы диагностировать, какая нужна помощь обучающемуся, чтобы он продвигался вперёд в освоении учебного материала (рисунок 2).

Может быть, вместо тщетной борьбы со списыванием, стоит попытаться изменить концепцию контроля и сделать его «умным», соответствующим парадигме смарт-образования. Не использовать контроль для ранжирования обучающихся, человеческой конкуренции и прочих подобных некомфортных для любого человека учебных мероприятий, а сосредоточиться на оценивании в процессе обучения и предоставлении индивидуальной помощи каждому обучающемуся с целью вывести его на требуемый уровень усвоения.

контроль для ранжирования обучающихся, человеческой конкуренции и прочих подобных некомфортных для любого человека учебных мероприятий, а сосредоточиться на оценивании в процессе обучения и предоставлении индивидуальной помощи каждому обучающемуся с целью вывести его на требуемый уровень усвоения.

6 Учиться столько времени, сколько необходимо

В классно-урочной системе – фиксированная и одинаковая для всех обучающихся длительность обучения. Все люди разные, одним становится скучно из-за медленного темпа учебной работы, другие не успевают усваивать учебный материал на заданном уровне в заданные сроки. Виртуальные среды, интерактивный контент в ЭДО, отсутствие итогового

⁵ Прокторинг – это процедура наблюдения и контроля за дистанционным испытанием (от англ. *proctor* – человек, который следит за ходом экзамена в университете).

оценивания вполне позволяют дополнить девиз «учиться в любом удобном месте, в любое удобное время» и лозунгом «столько времени, сколько необходимо».

7 Расставание с многопредметностью

Большинство современных психологов считает, что эффективность любого дела существенно снижается, если работать одновременно с несколькими задачами. Многозадачность увеличивает тревожность и может приводить даже к нервным срывам. Как и многие десятилетия ранее, продолжается изучение одновременно нескольких учебных дисциплин в течение семестра и даже дня.

Многие эксперименты показывают эффективность поочередного, концентрированного освоения учебных дисциплин [14]. Эта инновация, опирающаяся на смарт-инструменты ЭДО, вполне может быть включена в онтологию смарт-образования.

8 Главная сущность - обучающийся

Одна из базовых идей смарт-образования – главенствующая роль обучающегося в определении содержания и управлении процессом обучения, подкреплённая развитыми электронными ресурсами и технологиями [15, 16]. Обучающиеся, получив возможность выбора (учебного заведения, курса, преподавателя, видов учебного материала, времени, места и сроков обучения) становятся по-настоящему ответственными за своё обучение и главной сущностью в онтологии смарт-образования.

9 Новые функции преподавателя

Преподаватель в смарт-образовании уже не является главной сущностью в учебном процессе, он перестаёт быть единственным носителем и «передатчиком» знаний и становится лишь тьютором, помощником обучающихся по изучаемому учебному материалу. При этом у преподавателя появляются новые функции и специализации: консультант по выбору индивидуальной образовательной траектории (ИОТ), автор содержания и методист при разработке различных видов электронного контента.

10 Адаптация и искусственный интеллект

Различают два вида искусственного интеллекта (ИИ), сильный и слабый ИИ. Сильный ИИ может принимать решения, как человек, слабый - лишь помогает человеку в принятии решений [17, 18]. Люди учатся по-разному, и теории педагогической психологии лишь подтверждают эти различия. Учащиеся отличаются друг от друга способностями, опытом учебной работы, интересами и стилями обучения. Нет гарантии, что учебный материал, который хорошо работает для одного человека, будет работать с другим. Также и эффективность разных видов учебной работы может быть различна для разных людей.

Ответственность за выбор ИОТ и иных адаптационных решений возлагается на самого обучающегося. Это рационально для взрослых, состоявшихся людей с высоким уровнем образовательной мотивации, осознанными потребностями в формировании или развитии конкретных компетенций, когнитивным опытом и сложившимся стилем учебной работы. Школьникам, абитуриентам и студентам необходима помощь в этом плане. Поэтому, наряду с родителями и преподавателями, большие перспективы в смарт-образовании имеют систе-

мы ИИ, которые могут использовать базы накопленных прецедентов и математическое моделирование предметной области, обучающихся и процессов обучения.

11 Смарт-образование: новые технологии или новая парадигма?

Ключевым фактором в образовании является базовый взгляд на процесс обучения, его парадигму. Парадигму обычно определяют как исходную концептуальную схему, модель постановки проблем и стереотипов их решений, методов исследования, господствующих в течение определённого исторического периода в научном сообществе [19]. Типичным примером парадигмы в образовании можно считать классно-урочную систему обучения [1]. Эта система доминирует в мировом образовании уже более трёх с половиной столетий.

Перечень рассмотренных в данной статье факторов и потребностей, ведущих к изменениям, позволяет говорить о смарт-образовании, как о новой парадигме. В совокупности эти факторы дают количественный переход в новое качество за счёт синергии – усиливающего эффекта взаимного влияния.

Заключение

Мир в 21-ом веке изменяется как материально, так и ментально. Производственные отношения в образовании уже не соответствуют развитию производительных сил смарт-технологий. Совокупность современных и перспективных инноваций, обусловленных социальными потребностями и технологическими факторами, ведёт к эволюции системы образования от концептов традиционной классно-урочной системы не только к смарт-инструментам образовательной деятельности, повышающим качество учебного процесса, но и к новой перспективной образовательной парадигме смарт-образования.

Основными концептами, определяющими онтологию смарт-образования, являются следующие инновации: адекватность технологий, используемых в экономике, в повседневной жизни людей и в образовании; доступность и комфортность процессов получения образования; переход от стандартов содержания образования к его вариативности, при сохранении базовой фундаментальной подготовки; отказ от классов и жёсткого расписания, «страшилок» экзаменов и строгих ограничений сроков обучения; уход от многопредметности; главенствующая роль обучающегося; появление и развитие новых функций преподавателя; индивидуализация и персонификация процесса обучения при помощи систем ИИ.

Список источников

- [1] **Коменский Ян.** Великая дидактика. СПб: Типография А.М. Котомина, 1875. Приложение к журналу «Наша Начальная Школа» на 1875 год.
- [2] **Вербицкий А.А.** Становление новой образовательной парадигмы в российском образовании. *Образование и наука.* 2012; (6). С.5-18. DOI: 10.17853/1994-5639-2012-6-5-18.
- [3] **Сойфер В.А.** Human fActor. *Онтология проектирования.* 2021. Т.11, №1(39). С.8-19. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
- [4] Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 07.10.2022) "Об образовании в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.10.2022). Статья 2. Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/.
- [5] **Ардашкин И.Б., Суровцев В.А.** Смарт-образование как новая парадигма образования: pro et contra. *Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология.* 2020. №54. С.51-61. DOI:10.17223/1998863X/54/5.
- [6] **Тихомиров В.П., Днепровская Н.В.** Смарт-образование как основная парадигма развития информационного общества. *Современные информационные технологии и ИТ-образование.* 2015. Т.11. №1. С.9-13.

- [7] Creating the smart society: social and economic development through ICT applications. 6th Study Period 2014–2017. Geneva, 2017. 71 p. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.01.1-2017-PDF-E.pdf.
- [8] Science, Technology, Engineering and Mathematics in the National Interest: A Strategic Approach. Australian Government, Canberra, Office of the Chief Scientist, 2013. <https://www.chiefscientist.gov.au/sites/default/files/STEMstrategy290713FINALweb.pdf>.
- [9] **Соловов А.В., Меньшикова А.А.** Коронавирусные зигзаги электронного дистанционного обучения. *Высшее образование в России*. 2021. Т.30. №6. С.60-69. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-6-60-69.
- [10] **Соловов А.В., Меньшикова А.А.** Модели проектирования и функционирования цифровых образовательных сред // *Высшее образование в России*. 2021. Т.30. №1. С.144-155. DOI:10.31992/0869-3617-2021-30-1-144-155.
- [11] **Соловов А.В.** "Золотые клетки" виртуальных учебных сред. *Высшее образование в России*. 2012. №11. С.133-137.
- [12] **Толстой Л.Н.** Воспитание и образование // Журнал «Ясная Поляна». 1862.
- [13] **Jackson C.** 'Fear in and about education', in R. Brooks, M. McCormack and K. Bhopal (eds) *Contemporary Debates in the Sociology of Education*. Basingstoke: Palgrave Macmillan. 2013. P.185–201.
- [14] **Остапенко А.А.** Концентрированное обучение: как преодолеть многопредметность // *Народное образование*. 2018. №10. С.162-166.
- [15] **Боргест Н.М.** Принципы управления вузом на основе самоорганизации // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIII международной конф. (15-17 июня 2011 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2011. - С.391-400
- [16] **Боргест Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 3: автоматизация бизнес-процессов // *Онтология проектирования*. 2014 №1(11). С.24-41. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014_1%2811%29/3_Borgest.pdf.
- [17] **Осинов Г.С.** Искусственный интеллект: состояние исследований и несколько слов о будущем. *Новости искусственного интеллекта*. 2001. № 1. С.3-13
- [18] **Abdullaev A.** Trans-AI: How to Build True AI or Real Machine Intelligence and Learning. *Ontology of Designing*. 2021; 11(4): 402-421. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-402-421.
- [19] **Кун Т.** Структура научных революций. С ввводной статьей и доп. 1969 г. М.: Прогресс. 1977. 300 с.
-

Сведения об авторах

Соловов Александр Васильевич, 1948 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва в 1972 г., к.т.н. (1977). Профессор по кафедре технической кибернетики (2006). Действительный член Российской академии информатизации образования (1996). В списке научных трудов более 300 работ в области САПР, теории и технологий электронного обучения. ORSID: 0000-0001-6288-820X; Author ID (РИНЦ): 560817; Author ID (Scopus): 57222040521. a_solovov@mail.ru. ✉.



Меньшикова Анастасия Александровна, 1972 г. рождения. Окончила Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королева в 1996 г., к.т.н. (2004). Доцент кафедры суперкомпьютеров и общей информатики Самарского университета. В списке научных трудов более 40 работ. ORSID: 0000-0001-8201-7065; Author ID (РИНЦ): 382400; Author ID (Scopus): 57222036809; Researcher ID (WoS): H-6847-2017. nas-tya.menshikova@gmail.com.



Поступила в редакцию 22.10.2022, после рецензирования 18.11.2022. Принята к публикации 22.11.2022.



Transformation of the ontology of education: from the classroom lesson system to smart innovations

© 2022, A.V. Solovov✉, A.A. Menshikova

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract

The world in the 21st century is changing both materially and mentally. Productive relations in education no longer correspond to the development of the productive forces of "smart" technologies. The purpose of this article is to analyze the social and didactic aspects of modern and future trends in the field of education from the point of view of its development from the ontological traditions of the classroom system to the ontology of smart education innovations. The main factors and needs leading to innovative changes in the education system are considered: the adequacy of technologies used in the economy, everyday life of people and in education; accessibility and comfort of educational processes; the need to move from the standards of the content of education to its variability, while maintaining basic training; removing the classes, a rigid schedule, horrifying stories about exams and strict limits on the duration of training; avoidance of multidiscipline; the primary role of the student; the emergence and development of new teacher functions; individualization and personification of learning using artificial intelligence. It is shown that the totality of modern and promising innovations conditioned by social needs and technological factors leads to the evolution of the education system from the concepts of the traditional classroom system not only to smart tools of learning activities that improve the quality of the educational process, but also to a new promising educational paradigm of smart education.

Key words: *smart society, smart education, classroom lesson system, educational paradigm, individual educational trajectories, personification of education.*

For citation: Solovov AV, Menshikova AA. Transformation of the ontology of education: from the class-time lesson system to smart innovations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 470-480. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-470-480.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - Evolution of technical teaching aids

Figure 2 - Diagram of the interaction of the teacher, the student and the computer in e-learning

References

- [1] *Komenskiy Ya.* Velikaya didaktika [Great didacticism]. [In Russian]. St. Petersburg: Printing A.M. Kotomina. 1875. Appendix to Our Elementary School magazine for 1875.
- [2] *Verbitsky AA.* Developing the New Educational Paradigm in Russian Education [In Russian]. The Education and science journal. 2012; 6: 5-18. DOI:10.17853/1994-5639-2012-6-5-18.
- [3] *Soifer VA.* Human fActor [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 11(1): 8-19. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.
- [4] Federal Law No.273-FZ of December 29, 2012 (as amended on October 7, 2022) "On Education in the Russian Federation" (as amended and supplemented, effective from October 13, 2022). Article 2. Basic concepts used in this Federal law [In Russian]. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/.
- [5] *Ardashkin IB, Surovtsev VA.* Smart education as a new education paradigm: pro et contra [In Russian]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya = Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science. 2020; 54: 51-61. DOI:10.17223/1998863X/54/5.
- [6] *Tihomirov VP, Dneprovskaja NV.* Smart education as the main paradigm of development of the information society [In Russian]. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern information technologies and IT education*. 2015; 11(1): 9-13.

- [7] Creating the smart society: social and economic development through ICT applications. 6th Study Period 2014–2017. Geneva. 2017. 71 p. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.01.1-2017-PDF-E.pdf.
 - [8] Science, Technology, Engineering and Mathematics in the National Interest: A Strategic Approach. Australian Government, Canberra, Office of the Chief Scientist, 2013. <https://www.chiefscientist.gov.au/sites/default/files/STEMstrategy290713FINALweb.pdf>.
 - [9] **Solovov AV, Menshikova AA.** Coronavirus Zigzags of Electronic Distance Learning [In Russian]. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia.* 2021; 30(6): 60-69. DOI:10.31992/0869-3617-2021-30-6-60-69.
 - [10] **Solovov AV, Menshikova AA.** Models for the Design and Operation of Digital Educational Environments. [In Russian.] *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia.* 2021; 30(1): 144-155. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-1-144-155.
 - [11] **Solovov AV.** «Golden Cells» of Virtual Learning Environments. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia.* 2012; 11: 133-137.
 - [12] **Tolstoy LN.** Upbringing and education [In Russian]. *Zhurnal «Yasnaya Polyana».* 1862.
 - [13] **Jackson C.** ‘Fear in and about education’, in R. Brooks, M. McCormack and K. Bhopal (eds) *Contemporary Debates in the Sociology of Education.* Basingstoke: Palgrave Macmillan. 2013. P.185–201.
 - [14] **Ostapenko AA.** The Concentrated Training: How To Overcome *Mnogopredmetnoy.* [In Russian]. *Narodnoe obrazovanie.* 2018; 10: 162-166.
 - [15] **Borgest NM.** Principles of university management based on self-organization [In Russian]. *Problems of control and modeling in complex systems: Proceedings of the XIII International Conf. (June 15-17, 2011, Samara, Russia).* Samara: SamNTs RAS, 2011. P.391-400.
 - [16] **Borgest NM.** The future of the university: an ontological approach. Part 3: business process automation [In Russian]. *Ontology of designing.* 2014; 1(11): 24-41. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014_1%2811%29/3_Borgest.pdf.
 - [17] **Osipov GS.** Artificial intelligence: the state of research and a look into the future [In Russian]. *News of artificial intelligence.* 2001; 1: 3-13.
 - [18] **Abdoullaev A.** Trans-AI: How to Build True AI or Real Machine Intelligence and Learning. *Ontology of Designing.* 2021; 11(4): 402-421. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-402-421.
 - [19] **Kun T.** Структура научных революций. С вводной статей и дополнениями 1969 г. [The Structure of Scientific Revolutions. With an introductory article and additions of 1969]. [In Russian]. Moscow: Progress. 1977. 300 p.
-

About the authors

Alexander Vasilevich Solovov (b. 1948) graduated from the Korolyov Aviation Institute (Kuibyshev, USSR) in 1972, PhD (1977). Professor at the Department of Technical Cybernetics (2006). Full member of the Russian Academy of Informatization of Education (1996). The list of scientific works includes more than 300 works in the field of CAD, theory and technologies of e-learning. ORSID: 0000-0001-6288-820X; Author ID (RSCI) : 560817; Author ID (Scopus): 57222040521. a_solovov@mail.ru. ✉

Anastasia Alexandrovna Menshikova (b. 1972) graduated from the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolev in 1996, Ph.D. (2004). Associate Professor of the Department of Supercomputers and General Informatics of Samara University. The list of scientific works includes more than 40 works. ORSID: 0000-0001-8201-7065; Author ID (RSCI): 382400; Author ID (Scopus): 57222036809; Researcher ID (WoS): H-6847-2017. nas-tya.menshikova@gmail.com.

Received October 22, 2022. Revised November 18, 2022. Accepted November 22, 2022.



Формализация неявных знаний на основе образовательных компетенций и фоновых знаний

© 2022, П.В. Балакшин¹, Е.А. Машина^{1,2}✉

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

² Акционерное общество БИОКАД, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Статья посвящена обсуждению процесса создания единообразных подходов к описанию различных составляющих корпоративных знаний в условиях многодисциплинарной информационной среды предприятия. Предложен способ описания корпоративных знаний, основанный на образовательно-компетентностном подходе с использованием отдельной оценки образовательных компетенций и фоновых знаний работников. Приводится пример использования предложенного подхода к решению задач управления персоналом компании. В качестве методологической базы применяется разделение компетенций работников компании согласно источникам их возникновения. Работа выполнена на основе онтологического подхода и методов исследования текстов, созданных на естественных языках. Показано, что компетенции работника могут быть единообразно определены на основе частотного анализа текстов документов, в той или иной степени имеющих отношение к работнику. Новизна работы заключается в создании единообразного подхода к описанию корпоративных знаний работников предприятия, в основе которого лежит разделение компетенций работников на полученные в процессе образования, соавторской активности, производственного опыта, а также контекстных фоновых знаний. Показана возможность создания программных решений для описания компетенций работников компании, являющихся составной частью корпоративных знаний. Составные части предложенной в статье методики прошли этап испытаний и применяются для автоматизации работ служб предприятий, связанных с управлением деятельностью персонала.

Ключевые слова: знание, формализация, неявное знание, личностное знание, образовательно-компетентностные знания, фоновые знания.

Цитирование: Балакшин П.В., Машина Е.А. Формализация неявных знаний на основе образовательных компетенций и фоновых знаний // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.481-494. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-481-494.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные компании стремятся использовать как можно большие объёмы доступной информации для выработки адекватных технических и управленческих решений, связанных с внесением изменений в выпускаемый продукт и процессы его изготовления. При этом умение эффективно изменять конечный продукт и вносить инновации в производственные процессы в связи с изменяющимися трендами в развитии технологий и рынков становится важнейшим преимуществом предприятия [1]. Эффективным методом решения подобных задач сегодня стали системы управления корпоративными знаниями (СУКЗ), которые предполагают интегрированный подход к поиску, систематизации, оценке и распространению информационных активов предприятия [2]. Методологическую основу разработки СУКЗ заложили три направления исследований, которые получили условные названия американской, европейской и японской школ изучения процессов управления знаниями [3].

Американская школа сосредоточила своё внимание на вопросах управления современным предприятием через непосредственное влияние знаний на его бизнес [4]. Процессы управления знаниями определены как часть процесса организационного управления предприятием, основанная на специальных методах описания управленческой информации с целью улучшения производственных и организационных характеристик компании путём обеспечения формальной обоснованности принимаемых управленческих решений [5].

Европейской школой процессов управления корпоративными знаниями были созданы свои основные решения в области измерения интеллектуального капитала компаний [6]. При этом был выполнен большой объём работ по определению стоимости разнообразных нематериальных активов предприятия, таких как бренд, суммарная компетентность работников, репутация. Европейской школе принадлежит авторство создания общей структуры и большинства используемых сегодня методов оценок интеллектуального капитала компании и стоимости корпоративных знаний.

Японской школой осуществлены исследования процессов выявления и формализации знаний, разработана спиральная модель преобразования информации *SECI*¹[7]. Эта модель позволила описать процесс выявления знаний как результат многоэтапного взаимодействия неявного и явного знания, при котором на последовательных стадиях *Socialization-Externalization-Combination-Internalization* происходит окончательный процесс формализации знания.

Ключевым процессом подобной СУКЗ является создание и фиксация в руководящих документах организации вновь выявляемых знаний, представляющий собой преобразование неявного знания в явное. При этом предполагается, что явное знание может быть выражено в формальном виде и сохранено на различных носителях (в документах, инструкциях, специально организованных разделах памяти и пр.) отдельно от обладателя. Неявное знание не является формализованным и может существовать только вместе с обладателем [8, 9].

Так как неявное знание сложно передать от одного индивидуума к другому, для его выявления, формализации, воспроизведения и последующего развития требуются специализированные технологии. Одной из моделей этого процесса является универсальная спиральная модель *SECI* (см. рисунок 1).

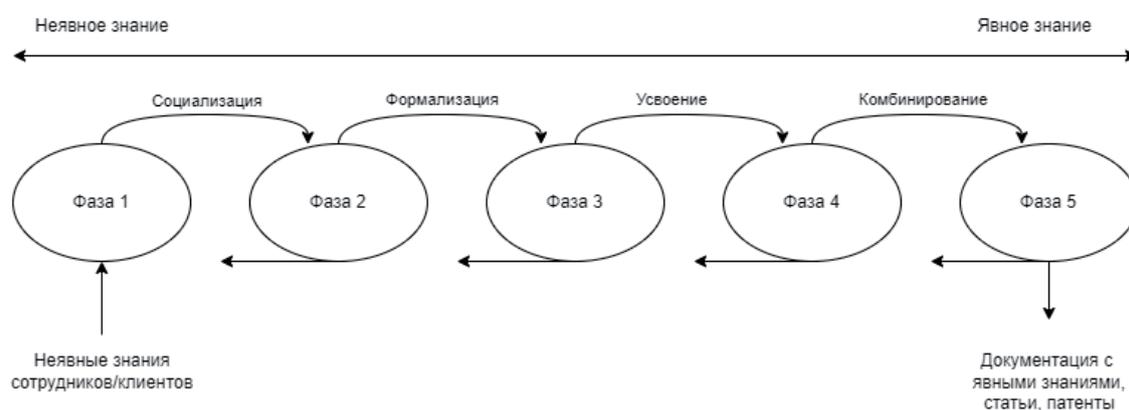


Рисунок 1 – Универсальная *SECI*-модель процесса преобразования неявных знаний в явные, лежащая в основе создания корпоративного знания

На первой фазе реализации *SECI*-модели происходит распространение неявных знаний в корпоративную среду их обсуждения. Во второй фазе реализуется процесс коллективного

¹ Модель измерений знаний *SECI* от англ. *Socialization- Externalization- Combination- Internalization* (Социализация- Экстернализация- Комбинация- Интернализация)

преобразования социализированного неявного знания стихийно или сознательно организованной командой в виде новой концепции в явное знание. На следующей фазе преобразований созданная концепция нового знания проходит стадию проверки, в ходе которой компания определяет, имеет ли созданная в предыдущей фазе процесса концепция право на существование. В четвёртой фазе процесса утверждённая концепция преобразуется в так называемый архетип, который может принять или форму организационного элемента, если речь идёт о нематериальном характере улучшения, или форму материального прототипа, если идёт речь о создании материального объекта. Последняя фаза создания явного знания представляет собой распространение созданного прототипа по подразделениям компании или за её организационными пределами. Этой процедурой осуществляется переход вновь выявленного знания на новый уровень и обмен знаниями с внешней средой.

В связи с тем, что все этапы выполнения действий согласно *SECI*-модели характеризуются выпуском сопровождающих текстовых документов строго определённых структур с использованием единого расширяемого тезауруса, по окончании всех этапов создаётся итоговый документ, описывающий вновь выявленное корпоративное знание. С этого момента выявленное знание добавляется в единую структуру корпоративных знаний, оформляемых в руководящие указания, производственные методики, корпоративные стандарты, бизнес-правила, технологии, чертежи, схемы, информационные массивы и прочие документальные материалы, а также в знания персонала, полученные им в период производственной деятельности.

В результате появилась возможность представить взаимодействие процессов управления корпоративными знаниями в качестве единой блок-схемы управляемого процесса с обратной связью (см. рисунок 2), реализованной в виде учёта изменения стоимостных оценок нематериальных активов [10], что является алгоритмическим описанием самообучающегося предприятия [11].

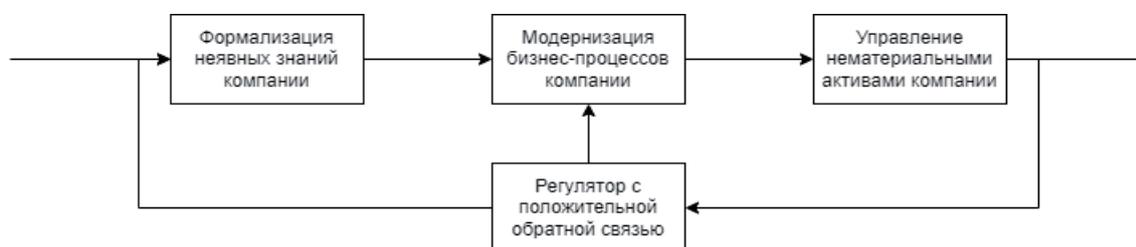


Рисунок 2 – Представление системы управления корпоративными знаниями в виде системы с положительной обратной связью

1 Многодисциплинарность корпоративных знаний

Представленная модель преобразования неявного знания в явное позволяет произвести необходимую формализацию существенной части неформализованного знания, являющегося предметом исследования. Однако на пути создания централизованной корпоративной системы формализации неявного знания для его использования в подразделениях компании стоит проблема обеспечения единообразия представления корпоративных знаний с целью совместного использования разнородных знаний, генерируемых структурами компании.

С точки зрения управления знаниями современное предприятие представляет собой сложную интегрированную информационную среду (ИС), содержащую и обрабатывающую совокупность распределённых массивов данных о продукции и сервисах компании, технико-технологической и организационной среде, процессах и ресурсах предприятия, необходимых для обеспечения его деятельности. Основной чертой интегрированной ИС любой компании

является многодисциплинарность. Когнитивную структуру ИС компании можно представить состоящей из трёх основных частей, генерирующих и использующих различные по своей природе знания (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Когнитивная структура частей интегрированной ИС современной компании

Параметр	Технологическая часть ИС	Часть ИС, поддерживающая работу с персоналом и клиентами компании	Административно-экономическая часть ИС
Ключевая смыслообразующая целевая функция	Управление технологическими процессами создания продукта и услуги	Управление взаимоотношениями с персоналом и клиентами	Экономика и менеджмент предприятия
Объект управления	Информация	Человек	Предприятие
Интегральная характеристика ключевых компетенций	Естественные науки и науки об информации	Гуманитарные науки, педагогика, психология, социология	Экономика и управление
Центричность задач	Обработка информации	Взаимодействие людей	Создание добавленной стоимости
Основной вид обрабатываемых знаний	Явные знания	Неявные знания	Знания – как интеллектуальный капитал

Технологическая часть ИС имеет своей целью обработку данных, направленную на поддержку технологических процессов бизнеса. Эта часть ИС предприятия оперирует в основном явными знаниями, представленными в нормативной технико-технологической документации в виде зафиксированных инструкций, позволяющих достоверно объяснять не только весь прошлый опыт, но и предсказывать будущие результаты технологических процессов. К этой части также относятся решения, предназначенные для ведения инновационных исследований и осуществляющие перевод неявных знаний в область явных знаний. В научно-технологической части корпоративной ИС влияние неявного знания ограничивается специализированными исследовательскими проектами, выполняемыми способами, близкими к *SECI*-модели [7] и парадигмальным знанием [12], к которому могут быть отнесены особенности проведения работ, характеризующие научное сообщество или школу.

Часть ИС, поддерживающая работу с персоналом и клиентами компании, отвечает за взаимодействие отдельных субъектов организации и базируется на достижениях педагогики, социологии, психологии, нормативно-правовой информации, должностном распределении и прочей документации, регулирующей управление персоналом внутри компании. Эта часть ИС оперирует наибольшим количеством неявных личностно-поведенческих знаний. Поэтому сфера управления корпоративными человеческими ресурсами и отношениями с клиентами является одной из наиболее заинтересованных сторон в проведении исследований по формализации неявных личностно-поведенческих знаний [13].

Административно-экономическая часть ИС оперирует знаниями в виде разного рода ресурсов, в число которых входит и интеллектуальный капитал компании. При этом в качестве источников знаний используются разнообразные системы финансового анализа и нормативные документы, регламентирующие построение внутрикорпоративных бизнес-процессов. Исключительная важность административно-экономической части ИС в системе управления корпоративными знаниями состоит в том, что знания, входящие в её состав, являются для предприятия единственной обратной связью, объективно описывающей интегральные результаты его деятельности. Для большинства компаний результат их деятельности зависит от поведенческой конъюнктуры рынка. Её определяющим фактором является поведение потребителя товаров или услуг, которое в значительной части определяется также личностно-поведенческим неявным знанием [14].

На сегодняшний день предприятия, использующие информационные решения для управления своим бизнесом, применяют описание корпоративных знаний в терминах интеллектуальных корпоративных ресурсов. Такое описание присутствует в виде макроэкономических категорий, используемых компаниями для стоимостного определения влияния корпоративных знаний на результаты деятельности предприятия. Наиболее полно интеллектуальные ресурсы количественно определяются в *ERP*-системе² компании в виде её нематериальных активов [15]. При этом анализ нематериальных активов позволяет хорошо описать влияние приращения корпоративных знаний (интеллектуального капитала) на экономические показатели компании.

Стоимостное определение знаний в виде нематериальных активов предприятия не даёт возможности определения конкретных причин и точек возникновения приращения новых знаний в ИС предприятия. Поэтому требуется детальное рассмотрение, связывающее элементы знаний с конкретными бизнес-процессами компании. Такими элементами могут являться объекты знаний, описывающие процессы возникновения новых корпоративных знаний и выделенные из информационных массивов предприятия [16]. В связи с этим представляется важным создание универсального способа описания корпоративных знаний, опирающихся на сравнимые нефинансовые показатели.

2 Универсальное описание знаний на основе образовательно-компетентностного подхода

Совокупность знаний, используемых предприятием в своей деятельности *KK*, может быть разделена на две составляющие:

$$KK = KD + K, \quad (1)$$

где *KK* – общий объём корпоративных знаний, являющихся объектом управления СУКЗ;

KD – общий объём явных корпоративных знаний, являющихся собственностью предприятия, формализованных в корпоративной документации и применяемых в технологических и бизнес-процессах предприятия;

K – общий объём знаний, которым обладают сотрудники предприятия, использующие их в своей работе.

Объём знаний работников, наиболее часто используемых при создании корпоративных инноваций, не является собственностью компании, а лишь временно привлекается предприятием на срок найма работника. Существенная часть этих знаний носит неявный (не задокументированный) характер. Поэтому любая компания заинтересована в детальном описании знаний, которыми обладают её работники.

Продолжительный период времени для целей единообразного описания знаний, навыков и компетенций нанимаемых работников использовалось разделение их на профессиональные квалификационные группы, объединённые по сферам деятельности и учитывающие уровень квалификации каждого работника. Этот подход хорошо применим для работников массовых профессий, выполняющих типовые действия, не зависящие от конкретных условий их проведения. С ростом темпа разработки и внедрения инноваций такой усреднённый подход стал приводить к тому, что затраты на дообучение работника на рабочем месте стали высокими, и потребовалась разработка методов количественной оценки знаний работника в конкретных областях деятельности [17]. При этом, с точки зрения предприятия подобным образом происходит уточнение конкретных знаний работника [16].

Одна из первых успешных попыток конкретизации объёма знаний сотрудника в целях его последующего применения в СУКЗ представлена в [13], где знание работника описано

² *ERP* (от англ. *enterprise resource planning*, планирование ресурсов предприятия).

как постоянно пополняющаяся комбинация личного образовательного опыта, индивидуальных ценностей и окружающей контекстной информации.

С учётом конкретизации понятия личностного знания [18, 19] весь объём неявных знаний работников компании можно разделить на две части:

- образовательно-компетентностные знания, предварительно полученные работниками в предыдущие периоды путём обучения и выполнения ими своих производственных обязанностей [14];
- фоновые знания, представляющие собой сведения о субъективных особенностях реального мира, известные всем членам коллектива компании и являющееся фактической основой языкового общения [20]:

$$K = KE + KB, \quad (2)$$

где KE – личностный образовательно-производственный опыт;

KB – личностный опыт, основанный на индивидуальных ценностях и окружающей контекстной информации (называемый фоновыми знаниями).

Следующим шагом в развитии образовательно-компетентностного подхода к описанию корпоративных знаний стало предложение учитывать суммарные корпоративные знания, носителями которых являются работники компании, как суперпозицию их компетенций во всех областях знания. Совокупный набор базовых компетенций K работников инновационной компании, участвующих в создании продукта, может быть представлен в виде:

$$K = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M K_{ij}, \quad (3)$$

где N – количество работников компании (акторов);

M – общее количество компетенций, принимаемых в рассмотрение;

K_{ij} – количественное описание j -ой компетенции i -ого актора.

При этом следует учитывать, что работники компании в процессе выполнения работ не только производят новые знания, но и повышают свои компетенции [21].

Учитывая коммуникативные возможности сотрудника во время производственной деятельности, суммарные знания работника K предлагается рассматривать как совокупность четырёх составляющих: образовательных знаний по сертифицирующим документам K_0 ; знаний, полученных в ходе выполнения исследовательских работ, K_1 ; «социальных» знаний, представляющих собой научно-исследовательские знания «соавторского окружения» конкретного исследователя, K_2 и фоновых знаний K_B :

$$K = K_0 + K_1 + K_2 + K_B. \quad (4)$$

Основными предпосылками, позволяющими осуществить дальнейшее описание разнородных знаний сотрудника, являются следующие положения [22]:

- знание носит вербальный характер;
- вновь выявляемое знание является развитием ранее накопленных знаний и может быть добавлено к ранее накопленным знаниям путём их расширения;
- специализированные элементы корпоративных знаний находят своё отражение в текстах внутрикорпоративных документов или массивах отраслевых и других общедоступных данных, используемых работниками предприятия.

Это позволяет свести действия по созданию единой системы описания корпоративных знаний к выбору набора речевых концептов, с помощью которых единообразно возможно описать многодисциплинарные массивы корпоративных знаний, а для их поиска и систематизации использовать в качестве инструмента анализа методы, основанные на обработке текстов на естественном языке.

Образовательные компетенции работника компании K_0 возможно получить, проведя последовательный анализ концептов всех пройденных им учебных программ [17], а для определения составляющих K_1 , K_2 и K_B требуется разработка соответствующих способов. В отли-

чие от образовательных процедур производственная деятельность работника, происходящая в среде производства инноваций, трудно поддается формализации и должна оцениваться по результату его работы.

3 Определение составляющих знаний работника

Задача описания процесса увеличения объема знаний, получаемого конкретным работником в период своей производственной деятельности, может быть сведена к последовательной модификации образовательной онтологии знаний работника [23] путем выполнения следующих действий:

- выделение новых понятий, которыми оперирует работник и его окружение, во входящих и исходящих производственных документах;
- расширение выявленными понятиями первоначальной онтологии знаний работника.

При этом задачу модификации онтологии знаний работника можно обеспечить путем последовательного выполнения следующих процедур:

- выделение терминов, имеющих признаки вновь выявленных концептов для данного работника по всему рассматриваемому корпусу текстов путем проведения частотного анализа рабочих текстов автора [24];
- нахождение концептов, семантически связанных с вновь выявленным термином с использованием сравнительного анализа контекстного косинусного расстояния [25];
- построение отношений и правил, связывающих вновь выявленные концепты, основанное на методах извлечения семантических отношений [26];
- непосредственное расширение онтологии знаний работника [27].

При определении K_0, K_1, K_2 разница будет лишь в типах документов, подлежащих анализу методами обработки текстов на естественном языке и характеризующих личностные компетенции (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Сравнительная оценка отдельных составляющих знаний работника

Параметр	Знания, связанные с образованием	Знания, связанные с опытом работы	Знания, связанные с соавторством	Фоновые знания
Обозначение в выражении (4)	K_0	K_1	K_2	K_B
Способ определения	Исследования, основанные на частотном анализе текстов			
Тексты, подлежащие анализу	Образовательные программы и учебные планы курсов, ранее усвоенных работником	Входящая и исходящая производственная документация, касающаяся работника	Тексты работ соавторов работника по его научным статьям	Тексты, полученные в результате процедур извлечения фоновых знаний

При определении K_0 анализу подлежат корпуса текстов, описывающих образовательный уровень сотрудника, включающие тексты пройденных им образовательных программ. При определении компоненты K_1 семантическому анализу должны подвергаться тексты научных работ, выпущенных работником, и тексты его ключевых рабочих документов. При определении компоненты K_2 анализу подлежат тексты научных работ, написанных соавторами исследуемого работника.

При создании методик выявления неявных фоновых знаний работников предлагается основываться на том, что любое человеческое знание носит вербальный характер или может быть с той или иной точностью таким образом выражено [22]. Авторами настоящей работы предложено строить механизмы изучения и формализации неявных фоновых знаний по ана-

логии с исследованиями фоновых знаний, используемыми в лингвистической теории перевода [23]. Согласно названной методологии неявные фоновые знания можно подразделить на четыре категории:

- личностные культурные знания, которые тесно связаны с религиозно-культурными ценностями, окружающими конкретного человека;
- личностные знания, относящиеся к наивной картине мира (так называемые обыденные знания);
- личные вербальные компетенции, выражающиеся в умении ясно описывать происходящее;
- знания о правилах межличностного взаимодействия в ситуации выполнения той или иной деятельности.

Воспользовавшись стандартными подходами лингвистических исследований фоновых знаний при переводе, можно определить наиболее перспективные направления выявления указанных категорий неявных фоновых знаний, среди которых можно выделить:

- семантический анализ тезауруса обыденных устных текстов испытуемого, предполагающий, что в основе каждодневного использования языка в живом общении лежит преимущественно интуиция, а не явно формализованные правила;
- анализ контекстных особенностей аргументации испытуемого, приводящего доводы, факты и доказательства с целью объяснения и упрочнения собственной позиции или поддержки другой стороны;
- анализ особенностей испытуемого при проведении экспертиз в сферах, где его рациональное и формализуемое знание не велико.

Операционными методами, применяемыми в подобных исследованиях неявных фоновых знаний работников или кандидатов на вакансию, могут быть различные виды типового анализа специализированного устного и письменного опросов испытуемого по заданному набору тем, материалы которых могут рассматриваться как подвергаемые анализу коллекции текстов. В качестве референтных наборов тестовых требований к набору фоновых знаний можно отнести текстовые материалы, полученные с использованием корпусов текстов «нормализованных образовательных групп» и собранные с применением технологий *CoP* (от англ. *community of practice*, сообщество практики).

Систематизация концептов, лежащих в основе зафиксированного в корпоративных документах явного знания, происходит, как правило, исходя из объектно-отраслевого подхода, выражающего особенности основной сферы деятельности предприятия. Поэтому описание знаний, построенное на их основе, будет не совпадать со структурами знаний работников, построенными на основе исходных образовательных концептов. В связи с этим для совместного использования множества явных корпоративных знаний *KD* и компетенций работников *K* согласно (1) в составе единой СУКЗ необходимо привести их к единому сопоставимому виду. Для этого должны быть проведены процедуры выявления соответствий между онтологией, построенной в концептах объектно-отраслевой онтологии, и компетентностной онтологией работников, базирующейся на образовательных онтологиях.

4 Использование образовательного-компетентностного подхода для решения задач управления человеческими ресурсами в инновационных проектах

Выражение (4) описывает личностные знания типового квалифицированного работника массовых технических и естественно-научных специализаций, получившего образование по унифицированной университетской программе, обладающего конкретным опытом работ,

нанимаемого на типовую работу, при выполнении которой составляющая личностных знаний K_0 носит определяющий характер.

Сегодня темп создания инноваций в некоторых областях знания очень высок. Это приводит к тому, что приращения личностных знаний работника, полученные в процессе его научной деятельности K_1 , становятся определяющими. Часто они оказываются полученными в развивающейся области знаний, которая ещё не обладает установившейся структурой понятий. Это существенно усложняет формализацию личностных знаний работника и приводит к необходимости создания специализированных процедур выявления и оценки конкретных знаний в инновационной области.

Решение подобной задачи требуется, в частности, тогда, когда необходимо оценить возможность быстрой интеграции квалифицированного специалиста в рабочую группу схожего направления или выбрать наиболее подходящего работника [17].

Подобная задача сравнения имеющихся у работника знаний с требованиями его будущего рабочего места может быть решена на основе определения степени семантического соответствия текстов работника и формальных требований, определяемых будущим направлением его работы. Степень семантической близости текстов определяется на основании сравнения векторных представлений текстов, сгенерированных нейросетевой моделью языка, обученной на большом корпусе текстов научных публикаций работника, претендующего на вакансию, и коллекции текстов научных материалов, обработку которых он будет проводить на его будущем рабочем месте.

В качестве языковой модели при построении методики сравнения была использована предварительно обученная языковая модель *GloVe* (от англ. *Global Vectors*, глобальные векторы, далее N) [25], которая позволяет производить обучение на малом количестве исходных данных. Поскольку для таких языковых моделей требуются лишь неразмеченные данные, в модели *GloVe* эффективность использования статистики совпадений отдельных структурных элементов текстов достигается путём минимизации разницы между произведением векторов слов и логарифмом вероятности их совместного появления с помощью стохастического градиентного спуска. При этом учитывается совместная встречаемость слов в тексте, а векторы слов группируются на основе их глобальной схожести.

Пусть P – коллекция научных текстов, опубликованных претендентом на вакансию, характеризующая его добавочные компетенции K_1 , полученные им в ходе выполнения предшествовавших работ, а S – коллекция текстов формальных требований к профессиональным знаниям, построенная на материалах, описывающих его будущую инновационную работу.

Тогда векторная близость знаний претендента и вакансии будет определяться путём вычисления косинуса угла между направлениями векторов p и s , построенных на основании коллекций P и S . После обработки коллекции текстов P на модели N можно определить семантический вектор для текстов публикаций автора в виде:

$$p = N(P), \forall p \in P, \quad (5)$$

где p – результирующий вектор;

$N(P)$ – обработанная при помощи ранее обученной модели коллекция текстов публикаций автора.

Вектор для профессиональных требований к профессиональным знаниям претендента:

$$s = N(S), \forall s \in S, \quad (6)$$

где s – результирующий вектор;

$N(S)$ – обработанная при помощи ранее обученной модели коллекция текстов, описывающая требования к профессиональным знаниям претендента.

Следующим шагом определяется искомая косинусная мера семантической близости $sim(p, s)$ для векторов p и s , которая будет формально характеризовать степень близости конкретных знаний претендента и требований к ним:

$$sim(p, s) = \cos(\theta) = \frac{p \cdot s}{\|p\| \|s\|} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i s_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n s_i^2}}, \quad (7)$$

где p_i и s_i являются компонентами векторов P и S .

Близость $sim(p, s)$ к единице будет говорить о соответствии знаний претендента требованиям вакансии. При наличии нескольких претендентов на вакансию должен быть выбран тот, значение $sim(p, s)$ которого выше.

При невозможности подобрать одного претендента, полностью «закрывающего вакансию», функциональные требования к претенденту должны быть разделены на несколько частей, для каждой из которых должна быть произведена процедура выбора наилучшего претендента.

Заключение

В результате проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

- значительную часть неявных корпоративных знаний современного инновационного предприятия представляет совокупность личных знаний работников;
- неявные корпоративные знания независимо от их происхождения возможно выявить и явно описать с помощью онтологий, применяя методы статистического и контекстного анализа массивов корпоративных документов;
- возможность использования методов обработки естественного языка для выявления неявных знаний объясняется вербальным характером человеческого знания и документальным оформлением бизнес-процессов предприятия;
- эффективным методом описания неявного корпоративного знания работников предприятия как постоянно пополняющейся комбинации личного образовательного опыта, окружающей контекстной информации, индивидуальных ценностей и интуиции является образовательно-компетентностный подход, разделяющий подобные знания на знания, полученные в процессе профессионального образования и производственного опыта, и фоновые знания;
- для формализации и оценки совокупности образовательно-компетентностных корпоративных знаний, связанных с квалификационными знаниями работника, следует использовать отдельный анализ трёх составляющих: образовательных знаний по сертифицирующим документам; знаний, полученных в ходе выполнения практических работ; социальных знаний, представляющих собой научно-исследовательские знания соавторского окружения работника;
- для оценки неявных фоновых знаний, которыми обладают работники компании, можно применить стандартные подходы лингвистических исследований фоновых знаний, используемые при переводе.

Список источников

- [1] *Shujahat M., Sousa M.J., Hussain S., Nawaz F., Wang M., Umer M.* Translating the impact of knowledge management processes into knowledge-based innovation: The neglected and mediating role of knowledge-worker productivity. *J. Bus. Res.* 2019, 94. P.442–450.
- [2] *Buenechea-Elberdín M., Sáenz J., Kianto A.* Exploring the role of human capital, renewal capital and entrepreneurial capital in innovation performance in high-tech and low-tech firms. *Manag. Res. Pract.* 2017, 15. P.369–379.

- [3] **Pillay D., Barnard B.** Entrepreneurship and knowledge management: knowledge requirements, utility, creation, and competency. *Expert Journal of Business and Management*, 2019, 7(1). P.44–81.
- [4] **Wiig, Karl M.** People-focused knowledge management: how effective decision making leads to corporate success. Amsterdam; Boston: Elsevier Butterworth Heinemann. 2004. 365 p.
- [5] **Wiig Karl M.** «Knowledge Management: An Introduction» in Proceedings of IAKE Second Annual International Conference. Washington DC: International Association of Knowledge Engineers, 1990. P.13-41.
- [6] **Karl Erik Sveiby.** The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-Based Assets, Berrett-Koehler, San Fransisco, 1997, 275 p.
- [7] **Nonaka I., Teece D.J.** Managing Industrial Knowledge: Creation, Transfer and Utilization /I. Nonaka, D. J. Teece // SAGE Publications Ltd, London, 2001, 352 p.
- [8] **Nonaka, I.** A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, 1994, № 5(1). P.14–37.
- [9] **North K., Kumta G.** Knowledge management Value creation through organizational learning. Springer, 2014.
- [10] **Kohlegger M., Ploder C.** Data driven knowledge discovery for continuous process improvement. In: Knowledge Management in Digital Change, Springer, 2018. P.65–81.
- [11] **Senge Peter M.** The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization. Deckle Edge, 2006, 445 p.
- [12] **Rajapathirana R.P.J., Hui Y.** Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *J. Innov. Knowl.* 2018, 3. P.44–55.
- [13] **Davenport T., Prusak L.** Working Knowledge. Harvard Business Review Press; 2nd edition, 2000, 240 p.
- [14] **Silvestre B.S., Tircă D.M.** Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *J. Clean. Prod.* 2019, 208. P.325–332.
- [15] **Acar M.F., Tarim M., Zaim H., Zaim S., Delen D.** Knowledge management and ERP: complementary or contradictory? *Int. J. Inf. Manag.* 2017, 37(6). P.703–712.
- [16] **Manville G., Karakas F., Polkinghorne M., Petford N.** Supporting open innovation with the use of a balanced scorecard approach: a study on deep smarts and effective knowledge transfer to SMEs. *Prod. Plan. Control* 30(10–12), 2019, p.842–853.
- [17] **Машина Е.А.** Using an ontological approach to form roadmaps for additional training of newly hired employees of a company focused on creating innovations. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО - 2022. Т.1. С.312-315.
- [18] **Serrat O.** Building a learning organization. *Knowledge Solutions*, Springer, Singapore 2017. P.57–67.
- [19] **Eric Lesser E., Prusak L.** Creating Value with Knowledge: Insights from the IBM Institute for Business Value. Oxford University Press, 2003, 240 p.
- [20] **Cheng Y., Chen K., Sun H., Zhang Y., Tao F.** Data and knowledge mining with big data towards smart production. *Journal of Industrial Information Integration*, 2018, № 9. P.1–13.
- [21] **Li Y., Song Y., Wang J., Li C.** Intellectual capital, knowledge sharing, and innovation performance: Evidence from the Chinese construction industry. *Sustainability*. 2019. N11(9). 2713 p. DOI: 10.3390/su11092713.
- [22] **Kamoun-Chouk S., Berger H., Sie B.H.** Towards integrated model of big data (BD), business intelligence (BI) and knowledge management (KM). In: Uden L., Lu W., Ting I.-H. (eds.) KMO 2017. CCIS, vol.731, Springer, Cham, 2017. P.482–493.
- [23] **Машина Е.А.** Taking into account the peculiarities of converting highly specialized professional texts to a conceptual series that is understandable to unskilled users when choosing machine translation technologies implemented within a single language. Сборник трудов X Конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 14-17 апреля 2021 г.) 2021, Т.1. С.358–361.
- [24] **Dang C.N., Le-Hoi L., Kim S.Y.** Impact of knowledge enabling factors on organizational effectiveness in construction companies. *Journal of Knowledge Management*. 2018. N 22(4). P.759–780.
- [25] **Howard J., Ruder S.** Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification // Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), Melbourne, Australia, 2018. P.328–339.
- [26] **Petasis G., Karkaletsis V., Paliouras G., Krithara A., Zavitsanos E.** Ontology population and enrichment: state of the art – knowledge-driven multimedia information extraction. Springer, 2011. P.134–166.
- [27] **Машина Е.А.** Application of statistical methods to solve the problem of enriching ontologies of developing subject areas. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2022. Т.1. С.301-305.

Сведения об авторах



Балакшин Павел Валерьевич, 1984 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) (2008), к.т.н. (2016). Доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники Университета ИТМО. В списке научных трудов более 50 работ в области речевых технологий и эффективного использования программных продуктов. ORCID: 0000-0003-1916-9546; Author ID (RSCI): 871717; Author ID (Scopus): 57196274359. pvbalakshin@gmail.com



Машина Екатерина Алексеевна, 2000 г. рождения. Окончила бакалавриат Университета ИТМО (2022). Магистрант учебного направления «Проектирование и разработка систем искусственного интеллекта» Университета ИТМО, преподаватель практики факультета Программной инженерии и компьютерной техники Университета ИТМО, разработчик группы разработки систем управления бизнес-процессами компании БИОКАД. В списке научных трудов более 40 работ в области ИИ и процессов управления знаниями. ORCID:0000-0002-3302-520X. mashina.katherina@gmail.com ✉

Поступила в редакцию 26.10. 2022, после рецензирования 20.11.2022. Принята к публикации 23.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-481-494

Formalization of implicit knowledge based on educational competencies and background knowledge

© 2022, P.V. Balakshin¹, E.A. Mashina^{1,2}✉

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

² Joint Stock Company BIOCAD, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The article is devoted to the discussion of the process of creating uniform approaches to the description of various components of corporate knowledge in a multidisciplinary information environment of the enterprise. A method for describing corporate knowledge based on the educational-competence-based approach using a separate assessment of educational competencies and background knowledge of employees is proposed. An example of using the proposed approach to solving the personnel management problems is given. As a methodological basis, the division of competencies of the company's employees according to the sources of its occurrence is used. The research is carried out based on an ontological approach and methods of studying texts created in natural languages. The paper shows that the employee's competencies can be uniformly determined based on a frequency analysis of documents texts that are more or less related to the employee. The novelty of the work lies in the creation of a uniform approach to the description of corporate knowledge of employees, which is based on the division of employee competencies into those obtained in the process of education, co-author activity, production experience, as well as contextual background knowledge. The possibility of creating software solutions for describing the employees' competencies, which are an integral part of corporate knowledge, is shown. The components of the methodology proposed in the article have passed the testing stage and are used to automate the functioning of enterprise services related to the management of personnel activities.

Key words: knowledge, formalization, implicit knowledge, personal knowledge, educational competence knowledge, background knowledge.

Citation: Balakshin PV, Mashina EA. Formalization of implicit knowledge based on educational competencies and background knowledge [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 481-494. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-481-494.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - Universal SECA -model of the transformation process of implicit knowledge into explicit, underlying the creation of corporate knowledge

Figure 2 - Presentation of the corporate knowledge management system in the form of a system with positive feedback

Table 1 - Cognitive structure of the integrated information environment parts of a modern company

Table 2 - Comparative evaluation of employee knowledge individual components

References

- [1] **Shujahat M, Sousa MJ, Hussain S, Nawaz F, Wang M, Umer M.** Translating the impact of knowledge management processes into knowledge-based innovation: The neglected and mediating role of knowledge-worker productivity. *J. Bus. Res.* 2019; 94: 442–450.
- [2] **Buenechea-Elberdin M, Sáenz J, Kianto A.** Exploring the role of human capital, renewal capital and entrepreneurial capital in innovation performance in high-tech and low-tech firms. *Res. Pract.* 2017; 15: 369–379.
- [3] **Pillay, D, Barnard, B.** Entrepreneurship and knowledge management: knowledge requirements, utility, creation, and competency. *Expert Journal of Business and Management.* 2019; 7(1): 44–81.
- [4] **Wiig Karl M.** People-focused knowledge management: how effective decision making leads to corporate success. Amsterdam; Boston: Elsevier Butterworth Heinemann. 2004. 365 p.
- [5] **Wiig Karl M.** «Knowledge Management: An Introduction» in Proceedings of IAKE Second Annual International Conference. Washington DC: International Association of Knowledge Engineers, 1990, p.13-41.
- [6] **Karl Erik Sveiby.** The New Organizational Wealth: Managing and Measuring Knowledge-Based Assets, Berrett-Koehler, San Fransisco, 1997, 275 p.
- [7] **Nonaka I, Teece DJ.** Managing Industrial Knowledge: Creation, Transfer and Utilization. SAGE Publications Ltd, London, 2001, 352 p.
- [8] **Nonaka I.** A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, 1994; 5(1): 14–37.
- [9] **North K, Kumta G.** Knowledge management Value creation through organizational learning. Springer, 2018, 364 p.
- [10] **Kohlegger M, Ploder C.** Data driven knowledge discovery for continuous process improvement. In: Knowledge Management in Digital Change, Springer, 2018, p.65–81.
- [11] **Senge Peter M.** The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization. Deckle Edge, 2006, 445 p.
- [12] **Rajapathirana RPJ, Hui Y.** Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *J. Innov. Knowl.* 2018; 3: 44–55.
- [13] **Davenport T, Prusak L.** Working Knowledge. Harvard Business Review Press; 2nd edition, 2000, 240 p.
- [14] **Silvestre BS, Țircă DM.** Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *J. Clean. Prod.* 2019; 208: 325–332.
- [15] **Acar MF, Tarim M, Zaim H, Zaim S, Delen D.** Knowledge management and ERP: complementary or contradictory? *Int. J. Inf. Manag.* 2017; 37(6): 703–712.
- [16] **Manville G, Karakas F, Polkinghorne M, Petford N.** Supporting open innovation with the use of a balanced scorecard approach: a study on deep smarts and effective knowledge transfer to SMEs. *Prod. Plan. Control* 30(10–12), 2019, p.842–853.
- [17] **Mashina EA.** Using an ontological approach to form roadmaps for additional training of newly hired employees of a company focused on creating innovations. Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University. 2022; 1: 312-315.
- [18] **Serrat O.** Building a learning organization. *Knowledge Solutions*, Springer, Singapore 2017, p.57–67.
- [19] **Eric Lesser E, Prusak L.** Creating Value with Knowledge: Insights from the IBM Institute for Business Value. Oxford University Press, 2003, 240 p.
- [20] **Cheng Y, Chen K, Sun H, Zhang Y, Tao, F.** Data and knowledge mining with big data towards smart production. *Journal of Industrial Information Integration*, 2018; 9: 1–13.
- [21] **Li Y, Song Y, Wang J, Li C.** Intellectual capital, knowledge sharing, and innovation performance: Evidence from the Chinese construction industry. *Sustainability*. 2019; 11(9): 2713 p. DOI: 10.3390/su11092713.

- [22] **Kamoun-Chouk S, Berger H, Sie BH.** Towards integrated model of big data (BD), business intelligence (BI) and knowledge management (KM). In: Uden L, Lu W, Ting I.-H. (eds.) KMO 2017. CCIS, vol.731, Springer, Cham, 2017, p.482–493.
- [23] **Mashina EA.** Taking into account the peculiarities of converting highly specialized professional texts to a conceptual series that is understandable to unskilled users when choosing machine translation technologies implemented within a single language. Proceedings of the X Congress of Young Scientists (St. Petersburg, April 14-17, 2021) – 2021; 1: 358-361.
- [24] **Dang CN, Le-Hoai L, Kim SY.** Impact of knowledge enabling factors on organizational effectiveness in construction companies. *Journal of Knowledge Management.* 2018; 22(4): 759–780.
- [25] **Howard J, Ruder S.** Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification. Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), Melbourne, Australia, 2018, p.328–339.
- [26] **Petasis G, Karkaletsis V, Paliouras G, Krithara A, Zavitsanos E.** Ontology population and enrichment: state of the art – knowledge-driven multimedia information extraction. Springer, 2011, p.134–166.
- [27] **Mashina EA.** Application of statistical methods to solve the problem of enriching ontologies of developing subject areas. Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University, 2022; 1: 301-305.
-

About the authors

Pavel Valerevich Balakshin (b. 1984) graduated from St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics, and Optics (ITMO University) in 2008, Ph.D. (2016). Associate Professor of the Faculty of Software Engineering and Computer Systems at ITMO University. The list of scientific papers includes more than 50 works in the field of speech technologies and effective use of software products. ORCID: 0000-0003-1916-9546; Author ID (RSCI): 871717; Author ID (Scopus): 57196274359. pybalakshin@gmail.com.

Ekaterina Alekseevna Mashina (b. 2000) graduated from ITMO University in 2022. Master's degree in the educational program "Design and Development of Artificial Intelligence Systems" of ITMO University, a teacher of practice at the Faculty of Software Engineering and Computer Systems of ITMO University, a developer of the business process management systems development group of the company BIOCAD. The list of scientific papers includes more than 40 works in the field of AI and knowledge management processes. ORCID:0000-0002-3302-520X. mashina.katherina@gmail.com. ✉

Received October 26, 2022. Revised November 20, 2022. Accepted November 23, 2022.



Проект краткого курса «Избранные вопросы инженерии»

© 2022, В.А. Филимонов

Омский филиал Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Омск, Россия

Аннотация

Предложено дополнить существующие вузовские курсы «Введение в инженерию» кратким авторским учебно-проектным курсом «Избранные вопросы инженерии». В качестве примера приведён план пятидневного курса. Курс предназначен для общего понимания специфики, структуры и проблем инженерной деятельности и, по замыслу, должен улучшить освоение материала курсов «Введение в инженерию». Курс имеет формат коллективного учебно-проектного процесса, который реализуется в когнитивной инфраструктуре ситуационного центра на доступных организаторам ресурсах. Такой центр может быть создан вне аудитории с использованием смартфонов участников. Познавательная среда обеспечивается наличием команды поддержки в составе координатора, методолога, планшетиста и игротехника. Функции команды поддержки может выполнить и один специально подготовленный преподаватель, способный к рефлексивному восприятию учебной ситуации. Предложен конструктор вариантов курса, включающий различные типы процессов реализации. Предложен вариант метафорической когнитивной карты инженерии в виде набора картин и комментариев к ним. Отмечена необходимость отдельного рассмотрения: этапов постановки задач и работы над ошибками; возможностей оперативного доступа студентов к сетевым ресурсам и технологий коллективной работы. Использован авторский подход "4К" (коллективный, когнитивный, конфигурационный, конвергентный) в комплексе с системой кросс-технологий, которая обеспечивает многодисциплинарность. Использована концепция взаимной подстройки когнитивных профилей студентов и форматов преподавания учебных предметов (визуальный, аудио, кинестетический, тактильный). Применение перечисленных авторских инструментов обеспечивает оригинальность предложенных решений.

Ключевые слова: система, схематизация, рефлексия, эвристика, коллектив, кросс-технологии, подход "4К", конструктор курсов, когнитивная карта.

Цитирование: Филимонов В.А. Проект краткого курса «Избранные вопросы инженерии». *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №4(46). С.495-505. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-5-495-505.

Благодарность: Автор выражает признательность д.т.н., профессору В.Н. Задорожному за возможность сделать презентацию курса на семинаре для студентов и аспирантов Омского государственного технического университета.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН, проект FWNF-2022-0016.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В 2015 г. в г. Железногорске на конференции «Робототехника и искусственный интеллект» руководитель Круглого стола и председатель оргкомитета В.А. Углев предложил присутствующим написать проект документа, содержащего современные требования к подготовке инженеров. Присутствующие, среди которых были представители Министерства образования и науки РФ, Министерства обороны РФ, Сибирского отделения РАН и другие специалисты высшей квалификации, с сожалением констатировали отсутствие (коллективного) субъекта, который мог бы это сделать. В 2022 г. ситуация изменилась. Формирование совре-

менного инженерного корпуса в РФ стало жизненно необходимой задачей. В связи с этим для поиска ответов на классические вопросы: «Что делать?» и «С чего начать?» актуализирован «чёрный ящик» российского образования, создание которого было начато в 2010 г. [1], использованы сведения более позднего периода, а также опыт работы автора в качестве инженера в сфере техники связи (1970–1988 гг.), преподавателя ВУЗов (1988–2022 гг.) и организатора краткосрочных тренингов и мастер-классов (2002–2022 гг.).

Анализ известной литературы проводился не с целью формирования обзора с указанием того, что в этой литературе есть, а с целью констатации того, чего в этой литературе нет (или недостаточно) из предлагаемого материала.

Переводная книга [2], изданная полвека назад, позволяет понять, как цели и задачи в инженерной деятельности изменяются с течением времени. В книге [3] инженерная деятельность рассмотрена с позиций информатики. Книга [4] по поставленным в ней целям ближе всего к назначению данной статьи, поскольку предусматривает реконструкцию смыслов деятельности. Книга [5] ориентирована на гуманизацию при освоении технических знаний. Объёмная переводная книга [6] содержит много примеров использования программ поддержки инженерной деятельности. В книге [7] для инженеров и менеджеров приведён перечень необходимых компетенций. Однако в этих книгах недостаточно отражена специфика постановки задач, источников инженерных ошибок и методов их исправления, технологий командной работы, а также использования ресурсов Интернет.

Проведённый анализ вместе с известным фактом инерционности систем образования позволил предположить, что в условиях мобилизации ресурсов для достижения технологического суверенитета целесообразно не затевать переработку существующих курсов, а начать с отбора новых компонентов и встраивания их в эти курсы. В таком отборе следует учесть некоторые важные факторы, в частности, обусловленные «систематической ошибкой выжившего» [8], особенностями «советско-гарвардской школы» [9], наличием «слепого пятна инженерного мышления» [10] и др.

Объём новой информации заведомо превышает возможность её полного и быстрого освоения. В связи с этим студентам желательно освоить основы быстрого самообучения.

Инструменты для формирования обзорных курсов, поддерживающих дисциплину «Введение в инженерию», представлены в [11, 12]. Использован авторский подход «4К» (коллективный, когнитивный, конфигурационный, конвергентный), кросс-технологии ситуационного центра, а также концепция взаимной подстройки когнитивных профилей студентов и форматов преподавания учебных предметов. В статье обозначены некоторые ключевые компоненты инженерной работы, актуальность освоения которых постоянно повышается.

1 Фундаментальные компоненты курса

1.1. Постановка задач как инженерная работа

Одна из ключевых характеристик талантливого инженера – способность увидеть задачу там, где обычно видят только определённую ситуацию. При этом технически решение задачи может быть достаточно простым. В [9] упомянуто, что изобретения колеса, чемодана и чемодана на колёсах отстоят друг от друга на многие годы. В [10] отмечено, что крайне необходимый в Великой Отечественной войне гранатомёт появился только в 1944 г., хотя самолёт с ракетным вооружением использовался СССР ещё на Халхин-Голе в 1939 г., а подводная лодка генерал-инженера Карла Шильдера осуществила в Кронштадте пуск ракет из под воды в 1834 г. Факты задержки изобретений можно считать проявлением т.н. «слепого пятна инженерного мышления».

В сложных системах постановка и решение задачи осуществляются параллельно, постепенно уточняя друг друга. Сформулированная задача даёт своего рода начальное приближение. Здесь могут быть полезными рекомендации автора теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), который рассматривал ситуацию «Как решать задачи, которых ещё нет» [13]. В случае, когда эти рекомендации кажутся слишком сложными, можно использовать книгу [14]. Такой подход дополняет ситуационную осведомлённость инженера в рамках конкретной задачи когнитивной осведомлённостью относительно вариантов развития ситуации.

Важным вопросом является постановка задач для программных систем. Здесь невозможно использовать напрямую многие эвристические приёмы, например, вепольный анализ ТРИЗ. Эвристика в программировании имеет свои особенности, а многие задачи, которые раньше решались с помощью физического эксперимента, сейчас решаются с помощью программирования (вычислительного эксперимента) [15]. На подходе квантовая кибернетика, знакомство с основами которой также будет полезной.

1.2. Работа над ошибками

Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на жизненный цикл инженерных разработок, является сокрытие ошибок и неудач, обусловленное законами социальной структуры. Боязнь наказаний приводит к воспроизводству ошибочных решений и действий. Критика характерна в случае борьбы научных школ и обычно отсутствует внутри школы. В литературе, как правило, приводятся описания удачных решений, что классифицировано как «систематическая ошибка выживших» [8]. Термин появился в результате решения задачи выбора мест усиленного бронирования на основе анализа пробоин в самолётах, вернувшихся с боевых операций. Другим примером является книга [16], содержащая описание инженерных ошибок в радиотехнике.

Одним из вариантов преодоления этого фактора является подход, в котором источники ошибок деперсонализируются за счёт переноса внимания с поиска виновных на вопросы: «Что виновато?» и «Кто делает?» [17]. Ввиду малой распространённости в РФ такого подхода, более реалистичным является использование рекомендаций [18] для управления жизненным циклом инженерных проектов.

Известны примеры публикации заведомо ложных данных с целью направить конкурентов на поиски в неперспективном направлении. Другим примером является публикация в открытых источниках данных, которые в совокупности раскрывают секретные сведения. Описания таких примеров в истории российского кораблестроения приведены в [19].

Умышленное использование ошибок в преподавании является мощным стимулом активизации внимания слушателей.

1.3. Доступ к сетевым ресурсам

Доступ к многочисленным сетевым ресурсам значительно влияет на процесс обучения. Эта ситуация во многом меняет функции преподавателей. Известны действующие университеты без преподавателей, в которых студенты реализуют собственные проекты в области информационных технологий¹. Наиболее интересной технологией использования сетевых ресурсов в обучении является система невыполнимых заданий [20]. Важной частью этой системы является психологическая поддержка процесса обучения.

В связи с тем, что английский язык стал фактически международным стандартом общения, а наличие компьютерных переводчиков создаёт иллюзию понимания любых текстов на

¹ Мэтт Пиклс. Университет без учителей. University opens without any teachers. <https://sila.media/noteacher/>.

любом языке, студентам полезно как приобрести некоторую лингвистическую интуицию, так и познакомиться с типичными ошибками перевода с английского языка.

1.4. Коллективная работа

Современные инженерные проекты выполняются большими коллективами. В этой связи освоение приёмов коллективной работы требует, во-первых, иметь представление о различных когнитивных ресурсах разных людей, и, во-вторых, иметь представление о многодисциплинарности, как фундаментальном свойстве инженерного проекта. Без знаний особенностей мышления администратора, финансиста, юриста, технолога и других специалистов работа инженера будет малоэффективной. Многие технологии коллективной работы подвержены эффекту демонстрации достижений без упоминания о рисках и достижениях других технологий, например, о возможности систем сетевого планирования и управления [21].

Специфическим вариантом коллективной работы можно считать использование «цифровых ангелов» [22] и других вариантов виртуальной реальности.

Умение работать в коллективе становится ключевым фактором деятельности инженера. Можно согласиться с критерием оценки достижений наиболее успешного ученика: *«Ученик владеет наукою: весьма ясно и определённо отвечает на вопрос, легко сравнивает различные части, сближает самые отдалённые точки учения с пронизательностью, довольно изощрённой упражнением, разбирает новые и сложные предлагаемые ему случаи, знает слабые стороны учения, места, где сомневаться, и что можно возразить против теории»* [23, с. 366-368]. Здесь следует добавить: ученик владеет наукою планирования и управления, способен говорить товарищам и учителям правду и выслушать такую же правду от других.

2 Инструменты проектирования курсов

2.1. Конструктор курсов

Предлагаемый вариант курса, оформленный с использованием конструктора, сформировался эволюционно в ходе проведённых учебных мероприятий со студентами и старшеклассниками. Способ структурирования и его эволюцию можно условно описать следующим образом. Первоначальная схема, которая реализована в школах и ВУЗах, аналогична схеме обработки любого материала (руда, древесина, рыба и т.п.):

- 1) сырой материал (в объёме, рассчитанном на один цикл используемой технологии);
- 2) сортировка материала;
- 3) обработка (получение продукта);
- 4) контроль и отбраковка;
- 5) упаковка готовой продукции (документирование).

При наличии логической рефлексии производится анализ проделанной работы, а также текущей ситуации (ситуационная осведомлённость). При наличии опыта жизни в определённой культуре устанавливаются ассоциации с изучаемым материалом (когнитивная осведомлённость).

Предлагаемый конструктор представляет собой набор компонентов, с помощью которых может быть сформировано представление процесса конкретной реализации. Пример представления курса с помощью пиктограмм приведён на рисунке 1. В таблице 1 даны кодированные названия компонентов (этапов) и их краткие описания. Такое представление удобно для коллективного проектирования и в этом качестве дополняет формат интеллект-карт. В частности, этот формат позволяет строить сетевые структуры, в том числе онтологии.

Набор	Профиль-1	Группа-1	Ликбез-1	Регламент работы	Образ проекта	Образ сборки-1	Образ участников
Цель проекта-1	Сборка Проекта-1	Проблема	Разбор полётов	Ликбез-2	Триада «С-Л-Он»	Триада «За-Пр-И»	Квадра «У-МЭН»
Адаптация	Сервисная команда	Конфигурация	Конвергенция	Сборка-2	Финал	Поддержка	Разбор полётов-К

Рисунок 1 - Пример пиктографического представления учебно-проектного курса

Организаторы курсов могут предложить свои компоненты и их мнемонические обозначения. Пиктограммы можно исполнить на карточках, наклейках и т.п., а также дополнить или заменить фигурами типа Лего и других игрушечных конструкторов.

2.2. Метафорическая когнитивная карта

На рисунке 2 приведён один из возможных вариантов метафорической когнитивной карты инженерии, сформированной из художественных произведений и фотографий.



Рисунок 2 - Метафорическая когнитивная карта инженерии

Таблица 1 - Описание компонентов конструктора (см. рисунок 1)

Код	Название этапа	Содержание этапа
A1	Набор	Формирование контингента участников: студентов, преподавателей и команды поддержки (См. этап В5)
B1	Профиль-1	Тесты определения когнитивных профилей участников. Базовый вариант – тесты МВТИ. Возможны другие варианты, которые позволят понять когнитивные особенности участников.
C1	Группа-1	Предварительное распределение участников по проектным группам.
D1	Ликбез-1	Брифинг. Системный анализ. Рефлексивное управление. Эвристика. Тренинг «Мостик». Индивидуальные профили. Индивидуальные задания.
A2	Регламент работы	Регламент определяется потенциалом доступных ресурсов. Возможно введение масок, виртуальных и удалённых участников.
B2	Образ проекта	Представление участниками концепции проекта (объект/процесс).
C2	Образ сборки-1	Представление участниками процесса создания проекта.
D2	Образ участников	Мониторинг достижений и проблем участников. Когнитивный образ состояния курса и прогнозы результатов.
A3	Цель проекта-1	Формирование целей организаторами для групп и отдельных участников (программирование поддержки, провала и т.п.).
B3	Сборка проекта-1	Прототипы проектов.
C3	Проблема	Проверка наличия главной проблемы организаторов: когнитивного иммунитета участников. Обозначение частных проблем групповых проектов, групп и участников.
D3	Разбор полётов	Анализ проектов с учётом этапа А3. Визуализация (полиэкран с экранами проектов и участников).
A4	Ликбез-2	Быстрое прототипирование, промежуточные технологии, инфраструктура, рефлексивный театр.
B4	Триада «С-Л-Он»	Субъект-Логика-Онтология. Без привязки к субъектам онтологии неустойчивы.
C4	Триада «За-Пр-И»	Задача-Программа-Исполнитель. Базовая триада информатики. Сохранение сложности в триаде.
D4	Квадра «У-МЭН»	Ученик - Мастер/Эксперт/Наблюдатель. Только Ученик критически нуждается в определённом знании.
A5	Адаптация	Подстройка материалов ликбеза под когнитивные профили участников.
B5	Сервисная команда	Методолог + Планшетист + Игротехник + Координатор. Тренинги команды поддержки из студентов.
C5	Конфигурация	Демонстрация наличия в каждом проекте нескольких системных представлений и языков. Дополнительно может быть осуществлено переформирование групп и тематики проектов
D5	Конвергенция	Стандартный вариант - успешное завершение. Критический вариант - содействие провалу проекта для последующей работы над ошибками.
A6	Сборка-2	Формирование групповых проектов, их экспертиза и подготовка к презентации. Публикация электронных версий статей.
B6	Финал	Итоговая конференция («Страшный суд»). Представление проектов. Оппоненты (прокурор и адвокат). Видеозапись.
C6	Поддержка	Организация поддержки участников после завершения курса.
D6	Разбор полётов-К	Разбор полётов координационный. Организаторы и команда поддержки анализируют свои достижения и ошибки в проведении курса.

Мнемоническое назначение данной когнитивной карты состоит в поддержке запоминания основных процедур инженерии. Знакомство с копиями картин, представленных в Интернете, и комментариями к ним, приведёнными в таблице 2, позволяет учесть большое количество важных деталей различных ситуаций.

Различие этой карты и результатов применения описанного выше конструктора соответствует различию между восприятием пространства (объект) и времени (процесс). У картины

(объекта) нет начала и конца. С позиции базовой формальной онтологии [24] конструктор более соответствует оккуненту, а карта — континуанту.

Таблица 2 - Пояснения к метафорической когнитивной карте (см. рисунок 2)

Название, автор	Предлагаемая инженерная интерпретация
<i>Атмосфера: популярная метеорология</i> К. Фламарион, 1888	Незнание. Новое знание основано на текущем состоянии когнитивной системы субъекта. <i>См. работы А.С. Нариньяни и Н. Кузанского.</i>
<i>Вавилонская башня</i> Питер Брейгель, 1563	Коллективный проект. Отсутствие единого представления проекта приводит к провалу.
<i>Невольничий рынок с явлением незримого бюста Вольтера</i> Сальвадор Дали, 1940	Конфигуратор. Оптическая иллюзия картины иллюстрирует влияние разных системных представлений на образ исследуемого объекта.
<i>Бурлаки на Волге</i> И. Репин, 1873	Коллектив. Артели бурлаков и процедуры работы были устроены достаточно сложно.
<i>Дегустация уксуса.</i> <i>Конфуций, Будда и Лао-цзы, 1600 (?)</i>	Экспертиза. Старинная гравюра, существующая во множестве вариантов, иллюстрирует процедуру экспертизы.
<i>Охота на мамонта. Наскальный рисунок.</i>	Схематизация. Один из основных способов понимания и объяснения.
<i>Богатыри</i> В. Васнецов, 1898	Триады. Иллюстрация триад «Субъект-Логика-Онтология». «Задача-Программа-Исполнитель».
<i>Папирус Хунифера,</i> 1275 до н.э.	Технология. Технология транслируется с помощью письменных инструкций.
<i>Извлечение камня глупости</i> И. Босх (?), 1510	Когнитивность. Рефлексия обеспечивает различие между незнанием и невежеством.
<i>Остров Пасхи.</i> <i>Т. Хейердал и моаи</i> Фото, 1957	Прототип. Экспериментально доказана возможность создания гигантских статуй (моаи) туземцами на доступных ресурсах. Доказано созданием контуров статуй – прототипов.
<i>Страшный суд (фрагмент фрески)</i> Андрей Рублёв, 1408	Представление проектов. Страшный суд как праздник праведников, а не только как процесс наказания грешников.
<i>Анализ катастрофы.</i> <i>С. Перслегин.</i> Фото, 2020	Разбор полётов. Анализ ошибок и достижений

2.3. Пример краткого учебно-проектного курса

Курс предусматривает работу группы студентов в течение пяти дней (см. таблицу 3) в режиме семинаров (4 часа в день) и самостоятельной работы. Его основными особенностями являются:

- методологический минимум (системный анализ, схематизация, рефлексивное управление, эвристика, работа над ошибками);
- технологический минимум (быстрое прототипирование, промежуточные технологии, инфраструктура, рефлексивный театр);
- создание профилей участников, а также взаимная подгонка ресурсов учеников и форматов преподавания;
- понимание особенностей коллективной деятельности и квалификационных работ;
- проектные задания, среди которых написание статьи и её Интернет-публикация, критика и защита, доклад на мини-конференции, «разбор полётов», видеозаписи, доступные участникам;
- одной из задач курса является его реализация как технологии²;

² Из участников формируется команда кросс-технологов 2-5 человек, которая в дальнейшем сможет проводить аналогичные курсы самостоятельно. Для этого потенциальные члены команды пишут для себя прототипы инструкций по предложенному образцу.

- курс поддерживается удалёнными экспертами — коллегами автора (автор организует удалённое сопровождение курса для участников в течение года).

Таблица 3 - Структура курса

Дни	Содержание
1-ый	Вводный инструктаж. Триада «Субъект-Логика-Онтология». Системный анализ. Рефлексивное управление. Эвристика. Тренинг «Бумажный мостик». Индивидуальные профили. Индивидуальные задания.
2-ой	Инженерная деятельность. Аналог и цифра. Квантовая логика. NBICS (нано-био-инфо-когно-социо)-технология. Постановка задач. Проекты. Прототипы. Когнитивная инфраструктура. Экспертиза. Тренинг «Бумажные самолёты». Формирование групп. Формирование команды кросс-технологов. Коллективные задания.
3-ий	Проектная деятельность. Квалификационные работы. Технологии коллективной работы. Мастерская самообслуживания диссертационного танкодрома. Публикация статей на <i>ResearchGate.net</i> . Когнитивная графика. Технический писатель как профессия. День английского языка.
4-ый	Конференция (представление проектов). Защита работ. Работа кросс-технологов. Разбор полётов.
5-ый	Выдача дипломов с индивидуальными рекомендациями. Итоги курса.

Реализовать курс данной направленности можно в любом объёме и на любом этапе обучения, в частности, на любом курсе ВУЗа, либо как фрагмент системы дополнительного обучения. Главное, чтобы инженеры знали о существовании описанных здесь критических факторов.

Заключение

Представлен проект учебного курса «Избранные вопросы инженерии». Использованы авторский подход «4К» (коллективный, когнитивный, конфигурационный, конвергентный), кросс-технологии ситуационного центра, а также концепция взаимной подстройки когнитивных профилей студентов и форматов преподавания учебных предметов. Представленный проект может служить дополнением к существующим курсам «Введение в инженерию». Следующие результаты являются оригинальными:

- мнемонический вариант конструктора учебно-проектных курсов;
- метафорическая когнитивная карта инженерии;
- необходимость отдельного рассмотрения процессов постановки задач, работы над ошибками, потенциала оперативного доступа студентов к сетевым ресурсам и технологий коллективной работы.

Отдельные компоненты подхода были реализованы в четырёх ВУЗах г. Омска в течение 2003–2022 гг. Обсуждение проекта курса проведено на семинаре «Онтология проектирования» 22.09.2022.

Список источников

- [1] Что делать? Кто виноват? Дискуссия об образовании // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та, 2010. Вып.5(31), С.197–201.
- [2] Крик Э. Введение в инженерное дело. М.: Энергия, 1970. 176 с.
- [3] Рейзлин В.И. Введение в инженерную деятельность для студентов направления 230100 «Информатика и вычислительная техника»: учебное пособие. Томск: Изд-во Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2012. 160 с.
- [4] Никитин В., Переслегин С., Парибок А. и др. Инженерная онтология. Инженерия как странствие. Учеб. пособие. Екатеринбург: ООО «Форжект», 2013. 230 с.
- [5] Корнилов И.К. Основы инженерного искусства. М.: МГУП имени Ивана Федорова, 2014. 372 с.
- [6] Мазумдер К.Х. Введение в инженерию. Оценка и подход к решению задач. Астана: Talap, 2016, 658 с.

- [7] **Николенко В.Ю.** Базовый курс системной инженерии, 2018. М.: МФТИ. 330 с.
- [8] **Элленберг Дж.** Как не ошибаться. Сила математического мышления. М.: МИФ, 2018. 576 с.
- [9] **Талеб Н.** Антихрупкость. Как извлечь выгоду из хаоса. М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2020. 768 с.
- [10] **Филимонов В.А.** Проблемы систем поддержки решений на примерах пандемии и спецоперации: ориентиры инженерного образования // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование. Матер. IV Всеросс. научно-практ. конф. Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2022. С.52-57.
- [11] **Филимонов В.А.** Кросс-технологии ситуационного центра - когнитивная инфраструктура проектирования. *Онтология проектирования*, 2014, № 4(14). С.98-104.
- [12] **Филимонов В.А., Черняевская В.С.** Формализация одушевленности на примере понятия «любовь». *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №1(43). С.11-24. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-11-24.
- [13] **Альшиуллер Г.** Найти идею: Введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. М.: Альпина Паблишерз, 2011. 400 с.
- [14] **Альтов Г. С.** И тут появился изобретатель. М.: Дет. лит., 1987. 126 с.
- [15] **Моисеев Н.Н.** Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1979. 224 с.
- [16] **Финк Л.М.** Сигналы, помехи, ошибки... (Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи). М.: Связь, 1978. 272 с.
- [17] **Фидельман Г., Дедиков С., Адлер Ю.** Альтернативный менеджмент. Опыт построения фанки-фирмы в России. М.: «Альпина Бизнес Букс», 2007. 222 с.
- [18] **Тарасов В.К.** Искусство управленческой борьбы. Технологии перехвата и удержания управления. М.: Добрая книга, 2019, 432 с.
- [19] **Крылов А.Н.** Мои воспоминания. Л.: Судостроение, 1979, 480 с.
- [20] **Митра С.** Построим «Школу в облаках». Лекция на TED 2013.
https://www.ted.com/talks/sugata_mitra_build_a_school_in_the_cloud/transcript?language=ru
- [21] **Сазерленд Дж.** SCRUM. Революционный метод управления проектами. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 288 с.
- [22] **Степанов С.Ю., Оржековский П.А., Ушаков Д.В.** Проблема цифровизации и стратегии развития непрерывного образования. *Непрерывное образование: XXI век*. 2020. Вып.2(30). DOI: 10.15393/j5.art.2020.5684.
- [23] **Глиноецкий Н.П.** Исторический очерк Николаевской академии генерального штаба. СПб: Типография штаба войск гвардии и Петербургского военного округа, 1882. 711 с.
- [24] ГОСТ Р 59798-2021. Информационные технологии. ОНТОЛОГИИ ВЫСШЕГО УРОВНЯ (TLO). Часть 2. Базисная формальная онтология (BFO). Information technology. Top-level ontologies (TLO). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Дата введения 2022-04-30.

Сведения об авторе

Филимонов Вячеслав Аркадьевич, 1946 г. рождения. Окончил Томский государственный университет (1970), к.т.н. (1978), д.т.н. (2000), профессор (2006), с.н.с. Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН (Омский филиал). В списке научных трудов около 100 работ в области радиотехники, системного анализа, прикладной математики, образования, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ) 2750-2279, AuthorID (Scopus) 57201316482, ResearcherID (WoS) J-2258-2018. filimonov-v-a@yandex.ru.



Поступила в редакцию 20.07.2022, после рецензирования 07.10.2022. Принята к публикации 11.11.2022



A blueprint for the short course "Selected Engineering Issues"

© 2022, V.A. Filimonov

Sobolev Institute of mathematics SB RAS, Omsk, Russia

Abstract

It is proposed to supplement the existing university courses "Introduction to Engineering" with a brief overview of the author's project-based learning course "Selected engineering issues". As an example, a five-day course plan is given. The course is intended for a general understanding of the specifics, structure and problems of engineering activities, and, according to the plan, should improve the mastering of the material of the Introduction to Engineering courses. The course has the format of a collective educational and project process, which is implemented in the cognitive infrastructure of the situation center on the resources available to the organizers. Such a center can be set up outside the classroom using participants' smartphones. The cognitive environment is ensured by the presence of a support team consisting of a coordinator, a methodologist, a tablet keeper and a game technician. The functions of the support team can be performed by one specially trained teacher capable of reflexive perception of the learning situation. A constructor of course options is proposed, which includes various types of implementation processes. A variant of a metaphorical cognitive engineering map as a set of pictures and comments to them is proposed. The need for separate consideration of the setting tasks stages, working on bugs and opportunities for students to quickly access network resources and teamwork technologies is noted. The author's "4C" approach (collective, cognitive, configurative, convergent) is used in combination with a cross-technology system that provides multidisciplinary. The concept of mutual adjustment of students' cognitive profiles and teaching formats of academic subjects (visual, audio, kinesthetic, tactile) is also used. The use of the listed author's tools ensures the originality of the proposed solutions.

Keywords: *system, schematization, reflection, heuristics, team, cross-technologies, "4C" approach, course designer, cognitive map.*

For citation: *Filimonov VA. A blueprint for the short course "Selected Engineering Issues" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 495-505. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-495-505.*

Acknowledgement: The author expresses gratitude to the Doctor of Technical Sciences Professor V.N. Zadorozhny for the opportunity to make a presentation of the course at the seminar for students and postgraduates of Omsk State Technical University.

Financial Support: the work was carried out within the framework of the state task of the SB RAS, project FWNF-2022-0016.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - An example of a pictographic representation of a project-based learning course

Figure 2 - Metaphorical cognitive map of engineering

Table 1 - Description of the constructor's components

Table 2 - Explanations for the metaphorical cognitive map

Table 3 - Course structure

References

- [1] What to do? Who is guilty? Discussion about education [In Russian]. Bulletin of the Siberian State University. Aerospace University, 2010; 5(31): 197- 201.
- [2] **Creek E.** Introduction to engineering [In Russian]. Moscow: Energy, 1970. 176 p.
- [3] **Reyzlin VI.** Introduction to engineering activities for students of direction 230100 "Computer science and computer technology": a textbook [In Russian]. Tomsk: Publishing House of the National Research Tomsk

- Polytechnic University, 2012. 160 p.
- [4] Engineering ontology. Engineering as a journey: a textbook [In Russian]. V. Nikitin, S. Pereslegin, A. Paribok and others / Ekaterinburg: Forzhekt LLC, 2013. 230 p.
- [5] **Kornilov IK**. Fundamentals of engineering art [In Russian]. Moscow: MGUP named after I. Fedorov, 2014. 372 p.
- [6] **Mazumder KKh**. Introduction to engineering. Assessment and approach to problem solving [In Russian]. Astana: Talap, 2016, 658 p.
- [7] **Nikolenko VYu**. Basic course of systems engineering [In Russian]. 2018. Moscow: MIPT. 330 p.
- [8] **Ellenberg J**. How not to be wrong. The power of mathematical thinking [In Russian]. Moscow: MIF, 2018. 576 p.
- [9] **Taleb N**. Antifragility. How to benefit from chaos [In Russian]. Moscow: Hummingbird, Azbuka-Atticus, 2020. 768 p.
- [10] **Filimonov VA**. Problems of decision support systems on the examples of a pandemic and special operations: landmarks of engineering education [In Russian]. Management systems, information technologies and mathematical modeling. Mater. IV All-Russian. scientific and practical. Conf. Omsk: Omsk State. tech. un-t, 2022. P.52-57.
- [11] **Filimonov VA**. Cross-technologies of the situational center - cognitive design infrastructure [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 4(14): 98-104.
- [12] **Filimonov VA, Chernyavskaya VS**. Formalization of animation on the example of the concept of "love" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 11-24. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-11-24.
- [13] **Altshuller G**. Find an idea: Introduction to TRIZ — the theory of inventive problem solving [In Russian]. Moscow: Alpina Publishers, 2011. 400 p.
- [14] **Altov GS**. And then an inventor appeared [In Russian]. Moscow: Det. lit., 1987. 126 p.
- [15] **Moiseev N.N**. Mathematics puts experiment [In Russian]. Moscow Nauka, 1979. 224 p.
- [16] **Fink LM**. Signals, interference, errors ... (Notes on some surprises, paradoxes and misconceptions in communication theory) [In Russian]. Moscow: Svyaz, 1978. 272 p.
- [17] **Fidelman G, Dedikov S, Adler Yu**. Alternative management. Experience in building a funky company in Russia [In Russian]. Moscow: Alpina Business Books, 2007. 222 p.
- [18] **Tarasov VK**. The art of managerial struggle. Technologies of interception and retention of control [In Russian]. - Moscow: Good book, 2019, 432 p.
- [19] **Krylov AN**. My memories [In Russian]. Leningrad: Shipbuilding, 1979, 480 p.
- [20] **Mitra S**. Let's build a school in the clouds. Lecture.
link:https://www.ted.com/talks/sugata_mitra_build_a_school_in_the_cloud/transcript?language=en
- [21] **Sutherland J**. SCRUM. A revolutionary method of project management [In Russian]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2016. 288 p.
- [22] **Stepanov SY, Orzhekovsky PA, Ushakov DV**. The problem of digitalization and strategies for the development of continuing education [In Russian]. *Continuing education: XXI century*. 2020; 2(30). DOI: 10.15393/j5.art.2020.5684.
- [23] **Glinoetsky NP**. Historical sketch of the Nikolaev Academy of the General Staff [In Russian]. St. Petersburg: Printing house of the headquarters of the Guard troops and the St. Petersburg Military District, 1882. 711 p.
- [24] GOST R 59798-2021. Information Technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Basic Formal Ontology (BFO). Introduction date 2022-04-30.

About the author

Vyacheslav Arkadyevich Filimonov (b.1946) graduated from the Tomsk State University (1970), Doctor of Technical Sciences (2000), Professor (2006), Senior Researcher at the Institute of Mathematics SB RAS (Omsk branch). The list of scientific papers includes about 100 papers in the field of radio engineering, system analysis, applied mathematics, education, artificial intelligence. AutorID (RSCI) 2750-2279, AutorID (Scopus) 57201316482, ResearcherID (WoS) J-2258-2018. filimonov-v-a@yandex.ru.

Received July 20, 2022. Revised October 07, 2022. Accepted November 11, 2022.



Онтологии в управлении образовательным процессом

© 2022, А.Ю. Плешкова

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В образовательных процессах ВУЗов онтологический подход используется в управлении учебными программами, для описания предметных областей программ учебных дисциплин, для оценки знаний учащихся. В статье рассматриваются способы использования онтологий в обучении и приводится пример онтологического подхода в управлении образовательным процессом. Выбрана область процесса «Подготовка к отчётному мероприятию» в рамках ведения научно-исследовательского семинара для студентов магистратуры. По результатам трёхлетнего эксперимента были предложены дополнения в исходную модель предметной области, связанную с сущностью «Преподаватель». Полученные изменения благоприятно сказываются на практике образовательного процесса как для преподавателя (повышение квалификации и мотивации), так и для студентов (повышение успеваемости и вовлечённости). Сформулированы выводы о полезности применения предложенного метода и его перспективах, о возможности расширить тематику исследования выполнением дальнейшего анализа образовательных процессов и использовать приведённые в статье результаты.

Ключевые слова: образовательный процесс, управление, онтологический подход, онтология, лучшие практики, извлечённые уроки, знание.

Цитирование: Плешкова А.Ю. Онтологии в управлении образовательным процессом // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.506-517. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-506-517.

Благодарности: автор выражает благодарность научному руководителю Гавриловой Татьяне Альбертовне за мотивацию и веру, а также признательность членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные процессы управления связаны с обработкой больших информационных потоков. Повсеместная и всеобъемлющая компьютеризация общества расширяет информационное поле и усложняет процессы принятия решений [1, 2]. В результате возникает ситуация, когда недостаток необходимых знаний с обилием информации делает её обработку проблемой во всех областях управления, в том числе в управлении образовательными процессами.

Онтология в философском плане – это часть науки, изучающая бытие. В информатике онтологии связывают имена сущностей и формальные аксиомы, которые ограничивают понимание и правильное использование этих терминов [3, 4]. Таким образом, в онтологии ссылаются на философскую концепцию цифрового представления реальности предметной области (ПрО) или знания [4, 5]. Среди наиболее распространенных определений онтология — «явная спецификация концептуализации» или своего рода артефакт, состоящий из определённого словаря для описания конкретной реальности [6, 7].

Для построения онтологий необходимо представлять знание ПрО таким образом, чтобы оно было удобно для чтения компьютером, внутренне непротиворечиво, а построенная онтология могла бы многократно использоваться в различных контекстах [7-10]. Именно по этим

причинам онтологии используются для уменьшения терминологической и концептуальной путаницы, которая часто возникает между отдельными лицами и организациями, а также в компьютерных системах. Онтологический подход является базовым средством адаптации системы образования к росту объёмов знаний (данных и информации) и актуальной необходимостью их формализации и структуризации.

Онтологии давно используются в образовательных системах [9, 11, 12], такое использование можно условно разделить на следующие категории:

- *моделирование программы учебной дисциплины* – представление программы, разработка плана программы, анализ перспективности её выполнения, оценка выполнения программы, определение наличия обязательных основных элементов программы, связь данных элементов с задачами и результатами учебной дисциплины и с другими элементами системы;
- *управление программой учебной дисциплины* – осуществление управления по этапам учебного процесса (промежуточный контроль, подготовка к отчётным мероприятиям, проведение отчётных мероприятий, выставление оценок и получение обратной связи);
- *описание ПрО учебной дисциплины* – онтология определённой ПрО, построение онтологии задачи обучения;
- *оценка усвоения данных учащимися* – на основе анализа индивидуального и группового прогресса учащихся, а также полученных результатов.

Эксперты по технологиям знаний применяют онтологии для персонализации образовательных аспектов, таких как обучение и курсы, для преодоления неоднородности и трудности обработки большого объёма данных из Интернета.

Актуальность использования онтологического подхода в образовательном процессе обуславливается:

- необходимостью превращение неявного знания в явное;
- совершенствованием образовательных процессов;
- ростом объёма информации и необходимостью её сжатия;
- повышением значимости качественного содержания учебных дисциплин;
- проблемой сохранения и накопления интеллектуального капитала.

Целью данной работы является построение усовершенствованной онтологической модели одной части образовательного процесса – «Подготовка к отчётному мероприятию», позволяющей дополнить основные траектории индивидуального профессионального развития студентов через применение дополнительного инструментария в преподавании.

1 Онтологическое моделирование и особенности современного обучения

В работах [13-17] рассматривались вопросы онтологий с позиций: философии; границ, типов и структур онтологий; разработки методологии создания и управления онтологиями ПрО; принципов использования формальной онтологии и онтологического инжиниринга для инженерии знаний в реальном мире. В развитии онтологий [13, 15, 17, 18] можно отметить использование системы *Protege* для разработки онтологии; подготовку обзоров и сравнений основных методологий, инструментов и языков для построения онтологий, а также составление описаний способов, где онтологии выступают схематическим представлением содержимого знания. Эти работы можно отнести к основополагающим исследованиям теории применения онтологического подхода. Практико-ориентированные работы, которые относятся к разделу описывающих примеры использования онтологий [17-19], касаются использования схем с помощью онтологий и семантических разрешений в согласовании бизнес-процессов.

Статьи, посвящённые вопросам управления знаниями и инжинирингу [19-24], описывают превращение фактов в данные, данных в информацию, а информацию в знание.

Современные работы в области применения онтологического подхода в образовании можно разделить на исследования, которые освещают общую методологию формирования онтологии определённой Про [25-28], и исследования, где использование онтологического подхода рассматривается как средство адаптации системы образования к росту объёмов знаний и актуальная необходимость их структуризации и формализации [29-31].

На основе проведённого обзора можно проследить, как освоение данной Про эволюционировало от общего к частному – т.е. от фундаментальных исследований к тем, в которых рассматриваются конкретные примеры. На данном этапе была сформирована коллекция практик, которые детально описывают использование онтологического подхода при решении практических задач. Поэтому важно формировать общую базу знаний, используя язык онтологий, понятный специалистам разных областей – менеджмента, экономики, искусства и др.

Выделенные автором атрибуты современных методов обучения [32] показаны в таблице 1. Построение онтологических моделей для названных во введении категорий использования возможно в каждом из данных методов, но наиболее явно необходимость внедрения онтологического подхода проявляются в проблемно-представленном и командно-ориентированном методах обучения. Из-за преобладания мгновенных элементов обучения (контроль, обратная связь, применение нового знания) дисциплины, на которых применяются такие методы обучения, сложны в управлении, как в процессе преподавания, так и в повышении мастерства преподавателя. Эти методы обучения чаще всего применяются в формате семинарских занятий, где происходит мгновенный обмен знаниями, где обновление общей базы знаний происходит на ежедневной основе, где присутствует влияние информационного контекста, а потому остро стоит необходимость в совершенствовании учебного процесса.

Таблица 1 – Современные методы обучения (авторская атрибуция)

Метод обучения	Атрибуты метода			
	Самостоятельный контроль	Противоречивое знание	Мгновенное применение полученного знания	Мгновенная обратная связь
Смешанное обучение	+			
Проблемно-представленное обучение		+	+	+
Командно-ориентированное обучение	+	+	+	+
Онлайн обучение	+			

В рамках осуществления современного подхода к преподаванию происходит смешение событий разной характерной направленности – дифференцированные (основанные на различиях) и недифференцированные (однородные по структуре) события разделяются между двумя основными участниками процесса обучения – студентами и преподавателями. Задачи, которые ставятся перед студентами, относятся к сфере дифференцированных – поиск и анализ информации из различных источников, проверка достоверности получаемой информации, создание нового знания на основе собственных предположений, подкреплённых знаниями из существующих достоверных источников, сочетание методов исследования и др. Поэтому применение традиционных инструментов и способов управления знаниями в преподавании (таких как чтение лекций, приведение примеров без углублённого разбора, проведение тестов и т. д.), относящихся к недифференцированным событиям и имеющим относительно однородную структуру, не является целеориентированным и единственным источником передачи знаний в современной информационной среде. Принимая во внимание растущий объём

ём информации взаимодействие со студентами должно обогащаться использованием дифференцированных инструментов и способов передачи, применения и создания знаний.

2 Предпосылки создания модели

Любая работа по взаимодействию со студентами и, в особенности, подготовка студентов к отчётному мероприятию (где происходит оценивание результата не только преподавателем, а членами профильной компетентной комиссии), должна быть привязана к обеим составляющим структур чувственного и рационального познания [33]. Это означает баланс формализованной и неформализованной информации (знаний) в процессе обучения и мотивирует к использованию разноплановых техник-подходов-методов в образовательном процессе. В рамках построения онтологии образовательного процесса необходимо принимать во внимание прямое отношение данного процесса к сфере научного познания [33, 34]: наблюдение-эксперимент-измерение-описание-классификация-систематизация. При построении онтологической модели необходимо соблюдать ряд требований: формализация в единых строго определённых образцах, использование ограниченного количества базовых терминов, внутренняя полнота и логическая непротиворечивость, чтобы модель воспринималась и могла быть реплицирована с сохранением логики и для других дисциплин гуманитарного характера [35, 36].

В данной статье рассматривается применение онтологического метода в рамках построения этапа процесса «Подготовка к отчётному мероприятию» по дисциплине: научно-исследовательский семинар (НИС) «Исследования в бизнесе, основанные на анализе данных» по программе магистратуры НИУ ВШЭ (Санкт-Петербург). В рамках данной дисциплины предусмотрено: проведение ряда семинаров, внутренние промежуточные мероприятия контроля и внешние отчётные мероприятия (предзащита и защита) для оценивания успеваемости студентов. Отчётное мероприятие служит оценке исследовательского индивидуального или группового проекта студентов, представленного в форме презентации. «Подготовка к отчётному мероприятию» включает в себя следующую последовательность этапов:

- 1) студенты получают информацию о грядущем отчётном мероприятии, основные требования к презентации и советы по исполнению задания;
- 2) студенты готовят презентацию для отчётного мероприятия;
- 3) презентация оценивается на семинаре группой преподавателей (репетиция отчётного мероприятия);
- 4) на семинарах проводится анализ представленного результата, его разбор и формирование выводов.

Опыт ведения дисциплины показал, что студенты сложно воспринимают знания, которые абстрактны и не индивидуализированы (общие рекомендации, описание формальных требований и т.д. на этапе 1). В процессе подготовки презентации на этапе 2 возникает много вопросов для обсуждения со стороны студентов – растёт необходимость детальной проработки и анализа презентаций, которые уже прошли процедуру отчётного мероприятия.

В течение трёх лет на первом курсе программы магистратуры с участием 287 студентов, помимо основной теоретической подачи материала и требований (на этапе 1) преподавателем были также внедрены (см. таблицу 2) дополнительные инструменты работы со знаниями (на этапе 4) [37, 38]. Чтобы сравнить результативность используемых инструментов в экспериментальной и контрольной группе, оценивалось качество презентаций на этапе 3 (до использования инструментов) и на самом отчётном мероприятии (после использования инструментов). Качество презентаций оценивалось тремя преподавателями по используемой в НИУ ВШЭ 10-балльной шкале по следующим критериям: оригинальность идеи; качество

проведения исследования (широта и глубина проработанности, выбранной темы, качество и количество проанализированных источников); логика, проработанность и завершённость выбранной темы исследования. Для отслеживания результативности презентаций в контрольной группе использовались данные прошлых лет, где не проводилось введение инструментов создания (СЗ) и применения (ПЗ) знания, но действовали те же этапы подготовки к отчётному мероприятию.

Таблица 2 – Добавленные инструменты управления знаниями в процесс преподавания

До-мен	Инструмент	Описание	Применение на НИС в рамках процесса «Подготовка к отчётному мероприятию»
Применение знаний (ПЗ)	Лучшие практики [38]	Профессиональные практики, которые приняты или предписаны как правильные или наиболее эффективные; подразумевают наличие какой-то одной “лучшей практики” для каждой ситуации.	Сортировка, отбор и анализ лучших презентаций за последние 3 года. Групповое обсуждение и формирование шаблонов.
	Извлечённые уроки [38]	Знания и опыт, которые были получены в ходе операционной деятельности, но не подлежат документированию в рамках стандартных процедур.	Анализ и разбор преимуществ и упущений, неточностей, недостатков и типовых ошибок представления презентаций за последние 3 года.
Создание знаний (СЗ)	Ретроспективный анализ [39]	Анализ данных с учётом изменения во времени, начиная от текущего момента времени к какому-либо прошедшему периоду времени.	Анализ и обсуждение причин преимуществ и упущений, неточностей, недостатков и типовых ошибок представления презентаций за последние 3 года.
	Групповые дискуссии [38]	Метод групповой психологической работы, позволяющий воздействовать на установки (мировоззрение, убеждения, стереотипы и др.) и мотивацию участников в ходе совместного обсуждения определенной проблемы.	Коллективное обсуждение проектов студентов и формирование нового знания.

Для сравнения контрольной и экспериментальной групп использовался парный *t*-критерий Стьюдента. Тест на нормальность распределения проводился с помощью критерия Колмогорова-Смирнова, который показал, что все переменные подчиняются нормальному распределению, и допустимо использовать *t*-критерий Стьюдента. По результатам контрольной группы среднее значение СЗ и ПЗ после внедрения инструментов выше, чем до его использования. Результаты в ПЗ и СЗ экспериментальной группы значительно изменились, что свидетельствует о благоприятном действии использования инструментов ПЗ и СЗ.

3 Построение и совершенствование модели

Онтологическая модель процесса «Подготовка к отчётному мероприятию» может быть сведена к следующему виду (см. таблицу 3)¹. Исходная модель составлена преподавателями НИУ ВШЭ на основе ведения НИС по программам магистратуры. В контексте совершенствования процесса преподавания программа ведения НИС была изменена: после внедрения в практику ведения семинаров и подготовки к отчётным мероприятиям дополнительных инструментов передачи и применения знаний модель претерпела изменения в содержании сущности «Преподаватель» (в правой части таблицы 3).

¹ В предлагаемом варианте онтологии автор, исследуя сущность преподавателя, рассматривал лишь инструментарий преподавания. Атрибутирование навыков и оценки преподавателей находятся в разработке, результаты которой автор планирует представить в ближайшем будущем.

Таблица 3 – Исходная модель и предлагаемый вариант содержания сущности «Преподаватель»

Онтология основных участников процесса «Подготовка к отчётному мероприятию»	
Исходная модель	Предлагаемый вариант
<p>Преподаватель</p> <ul style="list-style-type: none"> >Инструменты преподавания <ul style="list-style-type: none"> >>Передача знаний <ul style="list-style-type: none"> Теория Примеры >Навыки <ul style="list-style-type: none"> >>Компетентность <ul style="list-style-type: none"> Образование Профильная пригодность >>Экспертность <ul style="list-style-type: none"> Собственный опыт Опыт коллег >>Вовлечённость <ul style="list-style-type: none"> Низкая Средняя Высокая >Оценка преподавания <ul style="list-style-type: none"> >>Обратная связь студентов <ul style="list-style-type: none"> Оценка преподавания Свободная форма >>Прогресс студентов <ul style="list-style-type: none"> Низкий Высокий 	<p>Преподаватель</p> <ul style="list-style-type: none"> >Инструменты преподавания <ul style="list-style-type: none"> >>Передача знаний <ul style="list-style-type: none"> Теория Примеры >>Применение знаний <ul style="list-style-type: none"> <i>Лучшие практики</i> <i>Извлечённые уроки</i> >>Создание знаний <ul style="list-style-type: none"> <i>Ретроспективный анализ</i> <i>Групповые дискуссии</i> >Навыки <ul style="list-style-type: none"> >>Компетентность <ul style="list-style-type: none"> Образование Профильная пригодность >>Экспертность <ul style="list-style-type: none"> Собственный опыт Опыт коллег >>Вовлечённость <ul style="list-style-type: none"> Низкая Средняя Высокая >Оценка преподавания <ul style="list-style-type: none"> >>Обратная связь студентов <ul style="list-style-type: none"> Оценка преподавания Свободная форма >>Прогресс студентов <ul style="list-style-type: none"> Низкий Высокий
<p>Предмет</p> <ul style="list-style-type: none"> >Подготовка <ul style="list-style-type: none"> >>Регламент <ul style="list-style-type: none"> Длительность презентации Формат презентации Обязательные составляющие >>Теоретические рекомендации <ul style="list-style-type: none"> Формат представления Типовые ошибки >>Практические рекомендации <ul style="list-style-type: none"> Примеры презентаций Советы >>Репетиция презентации >Оценивание <ul style="list-style-type: none"> >>Критерии оценивания <ul style="list-style-type: none"> Регламентированные Негласные >>Отчётные мероприятия <ul style="list-style-type: none"> Промежуточный контроль Предзащита Защита 	
<p>Студенты</p> <ul style="list-style-type: none"> >Индивидуальность <ul style="list-style-type: none"> >>Познание >>Навыки и умения >Производительность <ul style="list-style-type: none"> >>Успеваемость <ul style="list-style-type: none"> Низкая Средняя Высокая >>Вовлечённость <ul style="list-style-type: none"> Низкая Средняя Высокая 	

При использовании разбора лучших практик или анализа извлечённых уроков абстракция знания уменьшается, что ведёт к повышению уровня восприятия информации, помогает

студентам быстрее усвоить новое знание и оперативно применить его на практике [38, 39], что позволяет улучшить качество презентации для отчётного мероприятия и получить высокий результат.

В рамках проведённого исследования можно отметить следующее:

- дополнительные инструменты управления знаниями представляют ценность для осуществления учебного процесса, поскольку они показывают положительную динамику представления результатов студентами;
- наибольший вклад вносит применение инструментов применения знаний: «лучшие практики» и «извлечённые уроки», где проводится анализ не только успешных презентаций (проектов), а также идёт разбор презентаций с менее успешным результатом на наличие (присутствие) типовых ошибок, недочётов и упущений (студентам наглядно представляется, как могут выглядеть фактические ошибки и обсуждаются пути поиска решения проблемы).

ВУЗы сосредотачиваются на знаниях; почти все их действия генерируют информацию, которую можно использовать тем, кто участвует в обучении и тем, кто обучает процессам и управляет людьми, принимающими решения [40, 41]. Из-за неполных данных о том, как онтологии могут применяться в образовательной среде для представления и передачи знаний, трудно получить информацию, раскрывающую преимущества применения онтологий в образовательных сценариях. Необходимо переосмыслить ключевые элементы и общую концепцию образовательного процесса со стороны преподавателя. Большую ценность при подготовке к отчётным мероприятиям представляет сочетание различных инструментов, ориентированных на создание, передачу и применение знаний, превращения неявного знания в явное.

4 Применение модели

Онтологическая модель была построена для совместного использования и совершенствования специалистами в ПрО (преподавателями, академическими руководителями образовательных программ, руководителями научных департаментов и т.д.). Модель позволяет отделять знания в ПрО от оперативных знаний и помогает сделать допущения в ПрО явными. Модель может использоваться при проектировании программ учебных дисциплин, планировании структуры учебных занятий преподавателем, при оценке преподавательского мастерства и других схожих задач.

Мотивацией использования дополнительных инструментов в преподавании также могут послужить недостатки традиционного формата обучения: ограниченность коммуникативного диалога студентов друг с другом; шаблонность, однообразие и отсутствие возможностей критического мышления со стороны студентов; слабая обратная связь.

Основным методологическим результатом работы является следующий порядок использования дополнительных инструментов преподавания.

- 1) анализ существующих инструментов управления знаниями в учебной подготовке (в частности, к отчётным мероприятиям);
- 2) формирование дополнительных направлений, обеспечивающих дифференциацию между этими инструментами;
- 3) предложение новой модели участника образовательного процесса.

Практическая иллюстрация применения разработанного алгоритма демонстрирует его пригодность к решению поставленных задач, повышению успеваемости и вовлечённости среди студентов.

Заключение

Использование дополнительных инструментов применения и создания знания, описанных в данной статье, может осуществляться на НИС по другим гуманитарным дисциплинам, в языковых практиках и т.д. Важным критерием успешности внедряемых инструментов управления знаниями являются высокая вовлечённость преподавателя в планирование и осуществление образовательной деятельности, мотивация групповой дискуссии, ориентир на лучшие практики преподавания и практики использования инструментов управления знаниями. Онтологический подход может применяться как инструмент для совершенствования методики преподавания в направлении системности и интегрированности с использованием практического опыта.

Список источников

- [1] *Katkalo V.* Creating a New Major Business School in the Times of COVID-19: The HSE-Moscow Way // In E. Cornuel (Ed.), *Business School Leadership and Crisis Exit Planning: Global Deans' Contributions on the Occasion of the 50th Anniversary of the EFMD*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. P.247-270.
- [2] *Максимов Н.В., Лебедев А.А.* Онтологическая система «знания - деятельность». *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №2(40). С.185-211. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211.
- [3] *Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.* Инженерия знаний. Модели и методы. СПб, Лань, 2016. 324 с.
- [4] *Гаврилова Т.А.* Инженерия знаний // В учебнике «Управление знаниями в инновационной экономике» под ред. Мильнера Б.З. (глава 21), М., Экономика, 2009. С.404-422.
- [5] *Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И.* Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: учебное пособие. СПб, Издательство "Высшая школа менеджмента", 2008. 488 с.
- [6] *Gavrilova T., Leshcheva I.* Building Collaborative Ontologies: A Human Factors Approach // Chapter in Book «Collaborative Knowledge in Scientific Research Networks» (Eds. P. Diviacco, P. Fox, C. Pshenichny, A. Leadbetter), IGI publishing, USA, 2014. P.305-324.
- [7] *Боргест Н.М.* Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования*. 2013. №3(9). С.97-31.
- [8] *Боргест Н.М.* Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха. *Онтология проектирования*. 2018. Т. 8, № 4. С.487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
- [9] *Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М.* Онтологический подход к проектированию научно-производственных систем. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, № 1(43). С.57-67. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-57-67.
- [10] *Боргест Н.М.* Онтология проектирования Super Smart Society: сущность, понятия, проблемы // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XXI международной конф. (3-6 сентября 2019 г., Самара, Россия). - Самара: Офорт, 2019. Т.2. С.9-14.
- [11] *Куликов Г.Г., Антонов В.В., Шилина М.А., Фахруллина А.Р.* Адаптивная модель совершенствования учебного процесса с использованием информационных технологий // Технологии цифровой обработки и хранения информации: матер. межд. конф. Уфа: УГАТУ, 2015. Т.1. С.194-198.
- [12] *Гаспариан М.С., Лебедев С.А., Тельнов Ю.Ф.* Проблемы взаимосвязи профессиональных и образовательных стандартов // 15-ая научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в управлении и образовании», 21 апреля 2016 // Сборник научных трудов. Часть 3. Секция 3. Современные технологии подготовки специалистов. М.: ФГБУ НИИ "Восход"
- [13] *Poli R.* Ontological methodology // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2002. Vol. 56. P.639-64.
- [14] *Sugumaran V., Storey V.C.* Ontology for conceptual modeling: their creation use and management // *Data & Knowledge Engineering*. 2002. Vol. 42. P.251-271.
- [15] *Guarino N.* Understanding, building and using ontology // *International Journal of Human-Computer Studies*. 1997. Vol. 46. P.293-310.
- [16] *Smith B.* Ontology // *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, Blackwell, Oxford. 2003. P.155-66.
- [17] *Noy N.F., McGuinness D.L.* Ontology development 101: a guide to creating your first ontology // *Prote'ge'-2000*. 2001. P.1-25.
- [18] *Corcho O., Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A.* Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? // *Data & Knowledge Engineering*. 2003. Vol. 46. P.41-64.

- [19] **Seng, J.L., Lin, W.** An ontology-assisted analysis in aligning business process with e-commerce standards // *Industrial Management&Data Systems*. 2007. Vol. 107 No. 3. P.415-37.
- [20] **Hult G.T.M.** An integration of thoughts on knowledge management // *Decision Sciences*. 2003. Vol. 34. P.189-95.
- [21] **Yim N-H., Kim S-H., Kim H-W., Kwahk, K-Y.** Knowledge based decision making on higher level strategic concerns: system dynamics approach // *Expert Systems with Applications*. 2004. Vol. 27. P.143-58.
- [22] **Fuchs C., Hofkirchner W.** Self-organization, knowledge and responsibility // *Kybernetes*. 2015. Vol. 34 No. 1/2. P.241-60.
- [23] **Rowe J.** Process metaphor and knowledge management // *Kybernetes*. 2015. Vol. 34 No. 6. P.770-83.
- [24] **Edgington T., Choi B., Henson K., Raghu, T.S., Vinze A.** Adopting ontology to facilitate knowledge sharing // *Communication of the ACM*. 2004. Vol. 47 No. 11. P.85-90.
- [25] **Stancin K, Poscic P, Jaksic D.** Ontologies in education – state of the art // *Education and Information Technologies* 2020; 25: P.5301–5320.
- [26] **Chimalakonda S, Nori K.** An ontology based modeling framework for design of educational technologies // *Smart Learning Environments*. 2020; 7(28).
- [27] **Majid M, Muhammad F, Farrukh Z, Muneer N, Mohammad A, Mohammed A.** Ontology-based system for educational program counseling // *Intelligent Automation and Soft Computing*. 2021; 30(1): P.373-386.
- [28] **Mariela T.L., Rivera A., Chicaiza J., Luján-Mora S.** Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study // 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). 2018; P.1344-1353.
- [29] **Долятовский В., Гамалей Я.** Онтологический подход к процессам и системам обучения и образования // *Образовательные технологии*. 2018. №3. С.76-106.
- [30] **Klimenko E.** Educational process management as innovative activity of a teacher // *Фундаментальные исследования*. 2005. №9. С.60-62.
- [31] **Смирнова Е.В., Добрица Е.К., Демиденко Н.О.** Использование онтологий в образовательных процессах // *Проблемы Науки*. 2017. №22 (104). С.70-74.
- [32] **Bohle Carbonell K., Dailey-Hebert A., Gerken, M., Grohnert, T.** Problem-Based Learning in Hybrid, Blended, or Online Courses: Instructional and Change Management Implications for Supporting Learner Engagement // *Increasing Student Engagement and Retention in e-learning Environments: Web 2.0 and Blended Learning Technologies*, Emerald Group Publishing Limited. 2013. №6. DOI:10.1108/S2044-9968(2013)000006G015.
- [33] **Черниговская Т.В., Гаврилова Т.А., Воинов А.В., Стрельников К.Н.** Сенсомоторный и когнитивный латеральный профиль: тестирование и интерпретация // *Физиология человека*. 2005. Том 31, N2. С.35-44.
- [34] **Гаврилова Т.А., Страхович Э.В.** Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1(35). С.87-99. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [35] **Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Данилов А.В.** Программная реализация информационно-образовательного пространства на основе многоагентной технологии и онтологического подхода // *Открытое образование*. 2015. № 6. С.73–82.
- [36] **Gavrilova T., Kokoulina L.** Using Ontology Engineering to Design Artificial Intelligence Course // *In Smart Education and e-Learning SEEL*, Smart Innovation, Systems and Technologies series 144, in: Uskov V.L. et al., (eds.), Springer, 2019. P.201-207.
- [37] **Безгинова Ю.А., Пleshkova А.Ю., Гарилина Т.А., Кудрявцев Д.В.** Практики управления знаниями в нефтяных компаниях // *Открытое образование*. 2018. №22(6). С.27-38.
- [38] **Gavrilova T., Alsufyev A., Pleshkova A.** Formalizing company KM portrait: pilot study with evidence from Russia // *Measuring Business Excellence*. 2018. №22(3). С.315-332.
- [39] **Гафиятуллина Э.А.** Ретроспективный анализ массовых образовательных онлайн-курсов в образовательном пространстве // *Мир науки. Педагогика и психология*. 2019. №6.
- [40] **Павлов С.В., Ефремова О.А.** Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных. *Онтология проектирования*. 2017. Т.7, №3(25). С.323-333. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.
- [41] **Антонов В.В., Куликов Г.Г., Кромина Л.А., Родионова Л.Е., Фахруллина А.Р., Харисова З.И.** Концепция программно-аналитического комплекса образовательного процесса на основе онтологии и искусственных нейронных сетей. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №3(41). С.339-350. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.
-

Сведения об авторе

Пleshkova Анастасия Юрьевна, 1990 г. рождения. Окончила Институт «Высшая школа менеджмента» Санкт-Петербургского государственного университета в 2018 г. Старший преподаватель Департамента менеджмента, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, НИУ ВШЭ в Санкт-Петербурге. Область научных интересов: управление знаниями, обмен знаниями. Author ID (РИНЦ): 1923-2967; Author ID (Scopus): 57193827230; Researcher ID (WoS): GSM-8212-2022. apleshkova@hse.ru



Поступила в редакцию 26.09.2022, после рецензирования 12.11.2022. Принята к публикации 20.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-506-517

Ontologies in educational process management

© 2022, A.Yu. Pleshkova

HSE University, Saint Petersburg, Russia

Abstract

In the educational processes of universities, the ontological approach is used in the management of curricula, to describe the subject areas of the academic disciplines programs, to assess the knowledge of students. The article discusses the ways of using ontologies in teaching and provides an example of an ontological approach to managing the educational process. The process area "Preparation for the reporting event" was selected as part of the research seminar for graduate students. Based on the results of a three-year experiment, an update was proposed to the original domain model associated with the "Teacher" entity. The resulting changes have a positive effect on the practice of the educational process both for the teacher (improving qualifications and motivation) and for students (increasing academic performance and involvement). Conclusions are formulated about the usefulness of the proposed method and its prospects, about the possibility of expanding the scope of the study by performing a further analysis of educational processes and using the results presented in the article.

Key words: *educational process, management, ontological approach, ontology, best practices, lessons learned, knowledge*

For citation: *Pleshkova AYu. Ontologies in educational process management [In Russian]. Ontology of designing. 2022; 12(4): 506-517. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-506-517.*

Acknowledgment: The author expresses her gratitude to the scientific adviser Tatyana Albertovna Gavrilova for motivation and faith, as well as to the members of the editorial board of the journal "Ontology of Designing" for comments and recommendations for improving this article.

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

List of tables

Table 1 – Modern educational methods (author's attribution)

Table 2 – Introduced knowledge management tools to the educational process

Table 3 – The original model and the proposed version of the entity "Teacher"

References

- [1] **Katkalo V.** Creating a New Major Business School in the Times of COVID-19: The HSE-Moscow Way // In E. Cornuel (Ed.), *Business School Leadership and Crisis Exit Planning: Global Deans' Contributions on the Occasion of the 50th Anniversary of the EFMD*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. P.247-270.
- [2] **Maksimov NV, Lebedev AA.** Ontological system "knowledge-activity" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(2): 185-211. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211.
- [3] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI.** Knowledge engineering. Models and methods [In Russian]. St. Petersburg, Lan, 2016. 324 p.
- [4] **Gavrilova TA.** Knowledge Engineering [In Russian]. In the textbook "Knowledge Management in the Innovative Economy", ed. Milner B.Z. (chapter 21), M., Economics, 2009. P.404-422.
- [5] **Gavrilova TA, Muromtsev DI.** Intellectual technologies in management: tools and systems: textbook. [In Russian]. St. Petersburg, Publishing House "Higher School of Management", 2008. 488 p.
- [6] **Gavrilova T, Leshcheva I.** Building Collaborative Ontologies: A Human Factors Approach // Chapter in Book "Collaborative Knowledge in Scientific Research Networks" (Eds. P. Diviacco, P. Fox, C. Pshenichny, A. Leadbetter), IGI publishing, USA, 2014. P.305-324.
- [7] **Borgest NM.** Key terms of ontology of designing: review, analysis, generalizations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3(9): 97-31.
- [8] **Borgest NM.** The ontologies of designing from Vitruvia to Vittikh [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
- [9] **Akhmedyanova GF, Pishukhin AM.** Ontological approach to designing scientific and production systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 57-67. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-57-67.
- [10] **Borgest NM.** Ontology of designing of Super Smart Society: essence, concepts, problems [In Russian]. *Problems of control and modeling in complex systems: Proceedings of the XXI International Conf. (September 3-6, 2019, Samara, Russia)*. - Samara: Etching, 2019; V. 2: 9-14.
- [11] **Kulikov GG.** An adaptive model for improving the educational process using information technologies / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, M.A. Shilina, A.R. Fakhrullina [In Russian]. *Technologies of digital processing and storage of information: mater. int. conf. Ufa: USATU, 2015. Vol.1. P.194-198.*
- [12] **Gasparian MS, Lebedev SA, Telnov YuF.** Problems of the relationship between professional and educational standards//15th scientific and practical conference "Modern information technologies in management and education", April 21, 2016 [In Russian]. *Collection of scientific papers. Part 3. Section 3. Modern technologies for training specialists. M.: FGBU NII "Voskhod".*
- [13] **Poli R.** Ontological methodology // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2002; 56: 639-64.
- [14] **Sugumaran V, Storey VC.** Ontology for conceptual modeling: their creation use and management. *Data & Knowledge Engineering*. 2002; 42: 251-271.
- [15] **Guarino N.** Understanding, building and using ontology. *International Journal of Human-Computer Studies*. 1997; 46: 293-310.
- [16] **Smith B.** *Ontology // Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, Blackwell, Oxford. 2003. P.155-66.
- [17] **Noy NF, McGuinness DL.** *Ontology development 101: a guide to creating your first ontology // Protege-2000*. 2001. P.1-25.
- [18] **Corcho O, Fernandez-Lopez,M, Gomez-Perez A.** Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*. 2003; 46: 41-64.
- [19] **Seng, JL, Lin, W.** An ontology-assisted analysis in aligning business process with e-commerce standards. *Industrial Management&Data Systems*. 2007; 107(3): 415-437.
- [20] **Hult GTM.** An integration of thoughts on knowledge management. *Decision Sciences*. 2003; 34: 189-195.
- [21] **Yim N-H, Kim S-H, Kim H-W, Kwahk K-Y.** Knowledge based decision making on higher level strategic concerns: system dynamics approach. *Expert Systems with Applications*. 2004; 27: 143-158.
- [22] **Fuchs C, Hofkirchner W.** Self-organization, knowledge and responsibility. *Kybernetes*. 2015; 34(1/2): 241-260.
- [23] **Rowe J.** Process metaphor and knowledge management. *Kybernetes*. 2015; 34(6): 770-783.
- [24] **Edgington T, Choi B, Henson K, Raghu TS, Vinze A.** Adopting ontology to facilitate knowledge sharing. *Communication of the ACM*. 2004; 47(11): 85-90.
- [25] **Stancin K, Poscic P, Jaksic D.** Ontologies in education – state of the art. *Education and Information Technologies* 2020; 25: P.5301–5320.
- [26] **Chimalakonda S, Nori K.** An ontology based modeling framework for design of educational technologies. *Smart Learning Environments*. 2020; 7(28).
- [27] **Majid M, Muhammad F, Farrukh Z, Muneer N, Mohammad A, Mohammed A.** Ontology-based system for educational program counseling. *Intelligent Automation and Soft Computing*. 2021; 30(1): 373-386.

- [28] **Mariela TL, Rivera A, Chicaiza J, Luján-Mora S.** Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study. 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). 2018; 1344-1353.
- [29] **Dolyatovsky V, Gamaley Ya.** Ontological approach to the processes and systems of teaching and education [In Russian]. *Educational technologies*. 2018; 3: 76-106.
- [30] **Klimenko E.** Educational process management as innovative activity of a teacher. *Fundamental research*. 2005; 9: 60-62.
- [31] **Smirnova E, Dobrica E, Demidenko N.** The use of ontologies in educational processes [In Russian]. *Problems of Science*. 2017; 22(104): 70-74.
- [32] **Bohle Carbonell K, Dailey-Hebert A, Gerken M, Grohnert T.** Problem-Based Learning in Hybrid, Blended, or Online Courses: Instructional and Change Management Implications for Supporting Learner Engagement // *Increasing Student Engagement and Retention in e-learning Environments: Web 2.0 and Blended Learning Technologies*, Emerald Group Publishing Limited. 2013. N6. DOI:10.1108/S2044-9968(2013)000006G015.
- [33] **Chernigovskaya TB, Gavrilova TA, Voinov AV, Strelnikov KN.** Sensorimotor and cognitive lateral profile: testing and interpretation [In Russian]. *Human physiology*. 2005; 31(2): 35-44.
- [34] **Gavrilova TA, Strakhovich EV.** Visual analytical thinking and mind maps for ontology engineering [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; №10(1): 87-99. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.
- [35] **Telnov YuF, Kazakov VA, Danilov AV.** Software implementation of information and educational space based on multi-agent technology and ontological approach // *Open education*. 2015; 6: 73-82.
- [36] **Gavrilova T, Kokoulina L.** Using Ontology Engineering to Design Artificial Intelligence Course [In Russian]. In *Smart Education and e-Learning SEEL, Smart Innovation, Systems and Technologies series 144*, in: Uskov V.L. et al., (eds.), Springer, 2019. P.201-207.
- [37] **Bezginova YuA, Pleshkova AYU, Garanina TA, Kudryavtsev DV.** Knowledge management practices in oil companies [In Russian]. *Open Education*. 2018; 22(6): 27-38.
- [38] **Gavrilova T, Alsufyev A, Pleshkova A.** Formalizing company KM portrait: pilot study with evidence from Russia // *Measuring Business Excellence*. 2018; 22(3): 315-332.
- [39] **Gafiyatullina EA.** Retrospective analysis of mass educational online courses in the educational space [In Russian]. *World of Science. Pedagogy and psychology*. 2019; 6.
- [40] **Pavlov SV, Efremova OA.** Ontological model for integration of structurally heterogeneous spatial databases of various subject areas into a uniform regional database [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 323-333. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.
- [41] **Antonov VV, Kulikov GG, Kromina LA, Rodionova LE, Fakhrullina AR, Kharisova ZI.** The concept of a software and analytical complex of the educational process based on ontology and artificial neural networks [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(3): 339-350. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.

About the author

Anastasiia Yurievna Pleshkova (b. 1990) graduated from the Institute "Graduate School of Management", St. Petersburg State University in 2018. Senior Lecturer in the Department of Management, St. Petersburg School of Economics and Management, National Research University Higher School of Economics in St. Petersburg. Research Interests: knowledge management, knowledge sharing, educational content. Author ID (RSCI): 1923-2967; Author ID (Scopus): 57193827230; Researcher ID (WoS): GSM-8212-2022. apleshkova@hse.ru.

Received September 26, 2022. Revised November 12, 2022. Accepted November 20, 2022.



Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей

© 2022, И.Н. Глухих¹, Т.Г. Шевелев², Р.А. Панов², А.М. Изотов²,
М.О. Писарев¹, Д.А. Лисс¹, В.С. Быков³, А.В. Абрамов³, К.З. Нониева¹✉

¹ Тюменский государственный университет (ТюмГУ), Центр системного инжиниринга, Тюмень, Россия

² ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Цифровое проектирование», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье представлено описание интеллектуальной системы поддержки концептуального проектирования месторождений, включающей в себя онтологическую базу знаний и программный прототип для автоматического конфигурирования системы подготовки газа. Онтологическая база знаний является инструментом для сохранения и воспроизведения инфраструктурных решений, показавших эффективность при реализации нефтегазовых проектов. Описаны онтологические модели-слои, включающие: партономию, таксономию, атрибутивную онтологию, онтологию процессов, онтологию функций, онтологию требований, онтологию расчётных моделей, онтологию оборудования. Каждый слой онтологии содержит знания, необходимые для конфигурирования системы подготовки газа, формализованные с помощью множества концептов и отношений между ними. Опираясь на онтологический подход и функционально-ориентированную онтологию, создан программный прототип для решения следующих задач: конфигурирование под требования, проверка исполнения требований и выявление противоречий при изменении конфигураций. Интеграция методов инженерии знаний и строгих математических алгоритмов в процессах принятия решений позволяет использовать как объективные физические закономерности нефтегазовых процессов, так и менее формализованную информацию об объектах и отношениях между ними. Автоматическая генерация технологических вариантов с учётом множества требований предназначена для использования на ранних этапах проектирования и направлена на ускорение ввода в эксплуатацию и сокращение изменений.

Ключевые слова: инженерия знаний, прикладная онтология, система подготовки газа, концептуальное проектирование месторождений, автоматическое конфигурирование технологических схем, программный прототип.

Цитирование: Глухих И.Н., Шевелев Т.Г., Панов Р.А., Изотов А.М., Писарев М.О., Лисс Д.А., Быков В.С., Абрамов А.В., Нониева К.З. Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Одним из приоритетных направлений деятельности нефтегазовых компаний является повышение эффективности разработки и обустройства нефтегазовых месторождений. Критериями успешности проектов, способствующими росту их рентабельности, являются бюджет, график и качество проекта, которое определяется как соответствие полученного результата требованиям заинтересованных сторон [1].

Анализ сложных проектов показывает, что снижение рентабельности возникает в связи со сдвигом сроков, превышением запланированных бюджетов, что в свою очередь во многом

обусловлено неполным учётом потребностей заинтересованных сторон, неполнотой и (или) неисполнением требований, поздним выявлением ошибок и, как следствие, высокими затратами на их устранение [2, 3]. Сокращение сроков ввода, снижение капитальных затрат и эксплуатационных издержек напрямую влияет на успех реализации проекта, позволяя компаниям достигать лидирующих позиций в своей отрасли.

В проектировании сложных нефтегазовых систем выделяют концептуальное проектирование и системную инженерию, которые обеспечивают жизнеспособность проекта за счёт принятия правильных решений на ранних стадиях разработки [4]. Основные технологические решения формируются на этапах концептуального проектирования, направленных на формирование вариантов разработки и обустройства месторождений и выбор наилучшего на основе технико-экономического обоснования.

Сложность нефтегазовых проектов, высокая степень неопределённости геологических данных обуславливают необходимость создания систем цифрового инжиниринга, которые способны обеспечить интеллектуальную поддержку процессов концептуального проектирования [5-7]. Такие системы должны обеспечить генерацию вариантов технологических решений, отвечающих заданным требованиям и существенным условиям эксплуатации, их характеристику и поддержку выбора с точки зрения определённых критериев и ограничений, см., например, [8, 9].

Таким образом, интеллектуальные системы (ИС) поддержки концептуального проектирования месторождений (ПКПМ) позволяют на ранних этапах нефтегазового проекта разработать технологические варианты с учётом многих требований и условий, в том числе, при разных исходных данных, с учётом возможных ограничений. Это позволяет разработать разные сценарии реализации проекта, ориентируясь на различные варианты технических решений и поставщиков, что актуально в динамично меняющемся мире.

Важной особенностью ИС ПКПМ является интеграция строгих математических методов и расчётных моделей и методов инженерии знаний с процедурами многокритериального принятия решений. Эта интеграция позволяет учитывать и использовать в процессах принятия инженерных решений объективные физические закономерности нефтегазовых процессов и менее формализованные сведения об объектах месторождения и отношениях между ними.

Ориентация на ранние этапы концептуальной разработки, интеграция научных методов для осуществления интеллектуальной поддержки принятия решений с генерацией вариантов и возможностью многокритериального выбора позволяет рассматривать ИС ПКПМ как новый вид программных инструментов [10-12], отличающий его от других известных систем (*MBSE, SysRE, PLM, BIM* и т.п.).

Статья посвящена ключевым вопросам создания ИС ПКПМ, как нового инструмента поддержки проектной команды при разработке нефтегазового проекта. Рассмотрен онтологический подход к созданию ИС ПКПМ. Разработана онтологическая модель для представления знаний, функционально-ориентированная на задачи концептуального проектирования вариантов технологических решений. Приведён пример разработки онтологии и программного прототипа для автоматического конфигурирования установки комплексной подготовки газа (УКПГ), как одного из компонентов ИС ПКПМ газоконденсатного месторождения.

1 Онтологический подход в создании ИС ПКПМ

1.1 Типовые задачи и метамодель функционально-ориентированной онтологии

Информационное ядро ИС ПКПМ составляет онтологическая база знаний (БЗ), функционально-ориентированная на решение прикладных задач в области обустройства месторождений.

В статье [13] представлено использование модели онтологии, содержащей в себе знания об инженерном объекте, свойствах материала и возможностях технологического процесса, для решения задачи многокритериального выбора оптимальной технологии. В работе [14] приведена онтологическая модель сложного технологического объекта как совокупность элементов объекта, отношений между ними и возможных состояний.

Отличительной чертой онтологических моделей прикладного назначения является их направленность на решение задач определённого типа. ИС ПКПМ предназначена для автоматической генерации вариантов наземного обустройства на основе требований и условий эксплуатации. В ИС ПКПМ выделены следующие приоритетные задачи:

- конфигурирование под требования;
- проверка исполнения требований;
- проверка на непротиворечивость при изменениях конфигураций.

Для решения этих задач определён набор концептов и отношений, которые должны быть в разрабатываемой онтологии (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Состав онтологии при решении задач ИС ПКПМ

Задача	Концепты	Отношения
Конфигурирование под требования	Объекты Параметры Процессы Функции Требования Продукты Ресурсы Расчётно-логические модели	Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Принимает ресурс Производит продукт Рассчитывается в модели
Проверка исполнения требований к оборудованию	Объекты Параметры Требования Расчётно-логические модели	Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Рассчитывается в модели
Проверка на непротиворечивость при изменениях конфигураций	Объекты Параметры Требования Расчётно-логические модели	Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Рассчитывается в модели

Детализация процессов решения выделенных задач позволяет обозначить ряд повторяющихся подзадач: определить состав; проверить соответствие требованиям; определить значение; рассчитать значение; подобрать объект для исполнения функции; подобрать аналог; подобрать процесс для получения продукта и т.п. Для их выполнения строятся онтологические модели - слои онтологии, включающие свои подмножества концептов и отношения между ними, а также алгоритмы интерпретации этих моделей. Мета модель функционально-ориентированной онтологии O в общем виде может быть представлена следующим образом: $O = \langle K, R, Z, Q \rangle$, где Z – множество типовых подзадач, K – множество концептов, R – множество отношений, $Q = \{Q_i | i = 1, 2, 3, \dots\}$ и $Q_i \subseteq Z \times K \times R$ – множество онтологических моделей, каждая из которых предназначена для решения своего подмножества задач.

На основе данной метамодели выполнено онтологическое моделирование УКПГ с использованием принципа (допущения) «одна модель – одно отношение», когда каждый слой онтологии отражает связь некоторого подмножества концептов одним из отношений множества R . На основании этого разработаны онтологические модели УКПГ, каждая из которых представляет знания, необходимые для выполнения определённых подзадач в процессах конфигурирования системы подготовка газа.

1.2 Онтологическое моделирование УКПГ

Архитектура онтологической БЗ представляет собой совокупность нескольких взаимосвязанных слоёв-моделей, каждый из которых обладает определённым набором характеристик для описания нефтегазовой системы. Концептуальная схема онтологии УКПГ, приведённая на рисунке 1, включает основные макросущности для описания инженерных проектов и отношения между концептами внутри каждой онтологии.

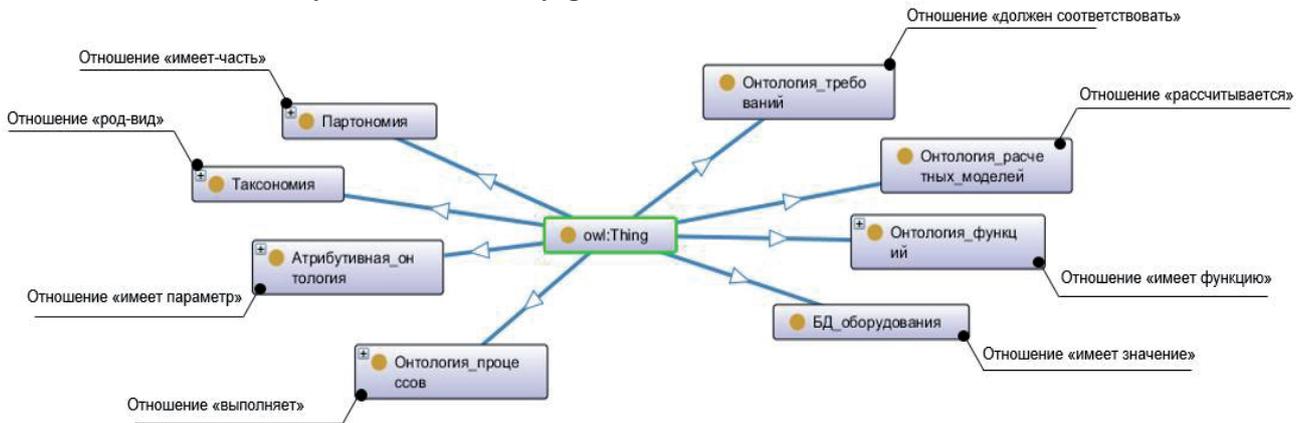


Рисунок 1 – Концептуальная схема онтологии УКПГ

На основе представленной архитектуры БЗ разработана онтологическая модель системы подготовки газа, включающая множество концептов и отношений внутри каждого слоя-модели, необходимых при конфигурировании объектов УКПГ.

Онтологическая модель УКПГ представляет собой открытую и дополняемую структуру, состоящую из следующих онтологий.

- Онтология партономия (отношение «часть-целое», см. рисунок 2) описывает перечень объектов с разным уровнем детализации в составе системы подготовки газа, объединённых в блоки основного и вспомогательного назначения.
- Онтология таксономия (отношение «род-вид», см. рисунок 3) включает в себя классификацию нефтегазовых объектов по определённому критерию, например, по типу назначения оборудования, что позволяет находить варианты оборудования при выполнении той или иной функции для его замены на более подходящие в текущих проектных условиях.
- Онтология атрибутов (отношение «имеет параметр») содержит в себе связи между объектами и атрибутами, описывающими характеристики их свойств и спецификаций.
- Онтология процессов (отношение «выполняется», см. рисунок 4) включает в себя взаимосвязь процесса с функциями, направленными на получение одного или нескольких товарных продуктов, среди которых выделяются следующие: осушенный и отбензиненный газ; нестабильный, деэтанализированный и стабильный конденсат; широкая фракция лёгких углеводородов и др.
- Онтология функций (отношение «имеет функцию», см. рисунок 5) включает в себя функциональную классификацию по типу воздействия на ресурс, взаимодействующий с нефтегазовым объектом подготовки, для решения задачи подбора вариантов с более подходящими характеристиками.
- Онтология требований (отношение «должен соответствовать»), которая связывает между собой объекты, атрибуты и предъявляемые к ним требования со стороны различных заинтересованных сторон и нормативно-технической документации.
- Онтология расчётных моделей (отношение «рассчитывается») включает в себя комплекс математических формул и алгоритмов для определения значений атрибутов объектов в

рамках решения задачи подбора экземпляров из базы данных (БД) и связывания требований разного уровня для поиска противоречий.

- БД оборудования (отношение «имеет значение») содержит перечень экземпляров объектов с конкретными значениями атрибутов, к которым обращаются расчётные модели для подбора конфигурации оборудования, удовлетворяющей проектным данным и нормативно-техническим требованиям.

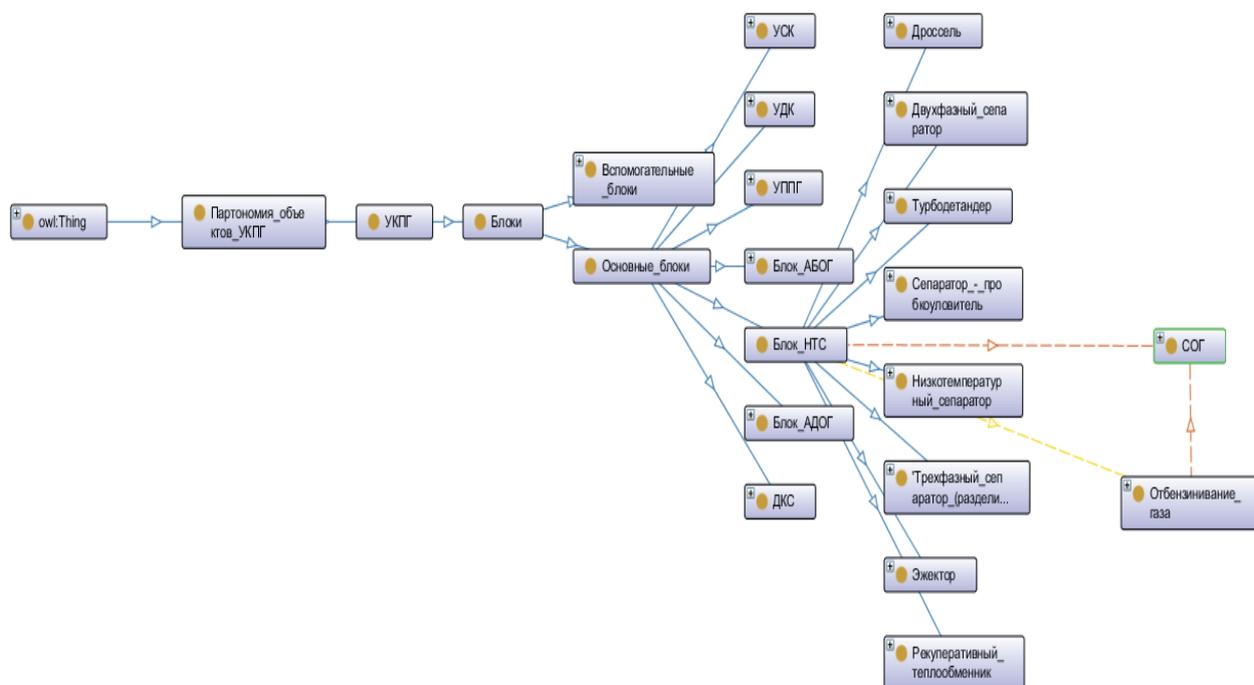


Рисунок 2 - Фрагмент онтологической модели партономии в рамках описания УКПГ

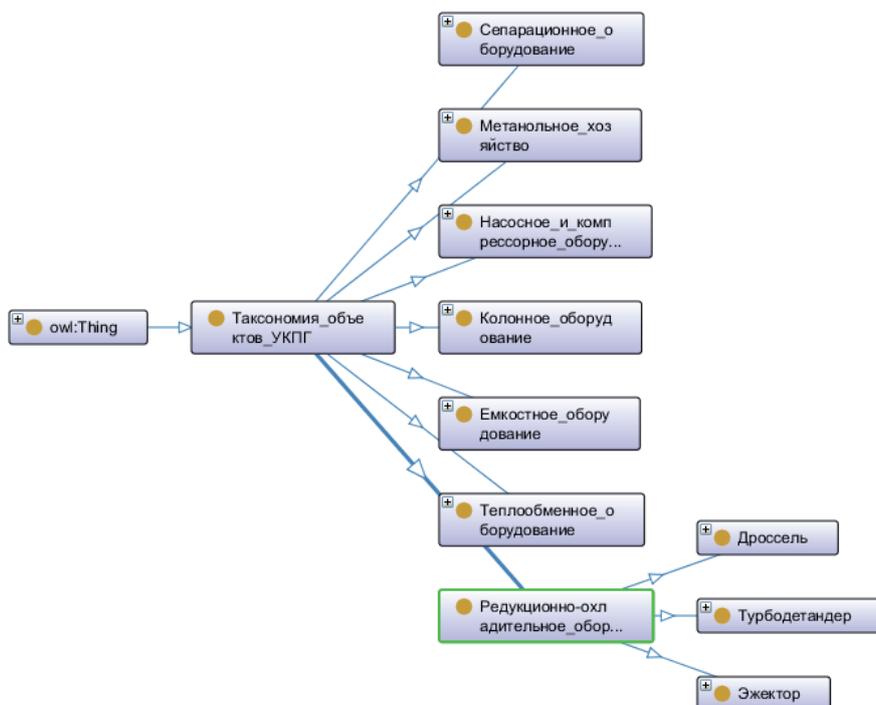


Рисунок 3 - Фрагмент онтологической модели таксономии в рамках описания УКПГ

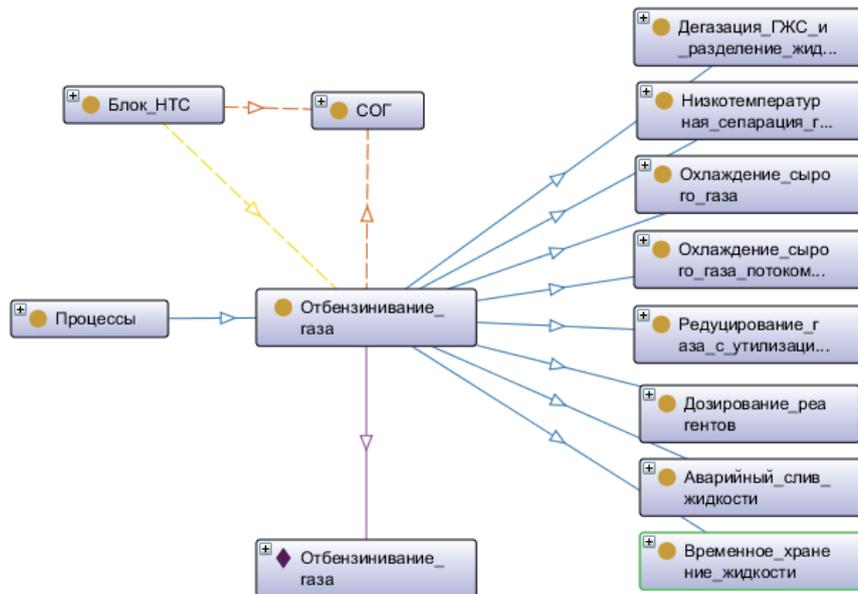


Рисунок 4 - Фрагмент онтологии процессов в рамках описания УКПГ

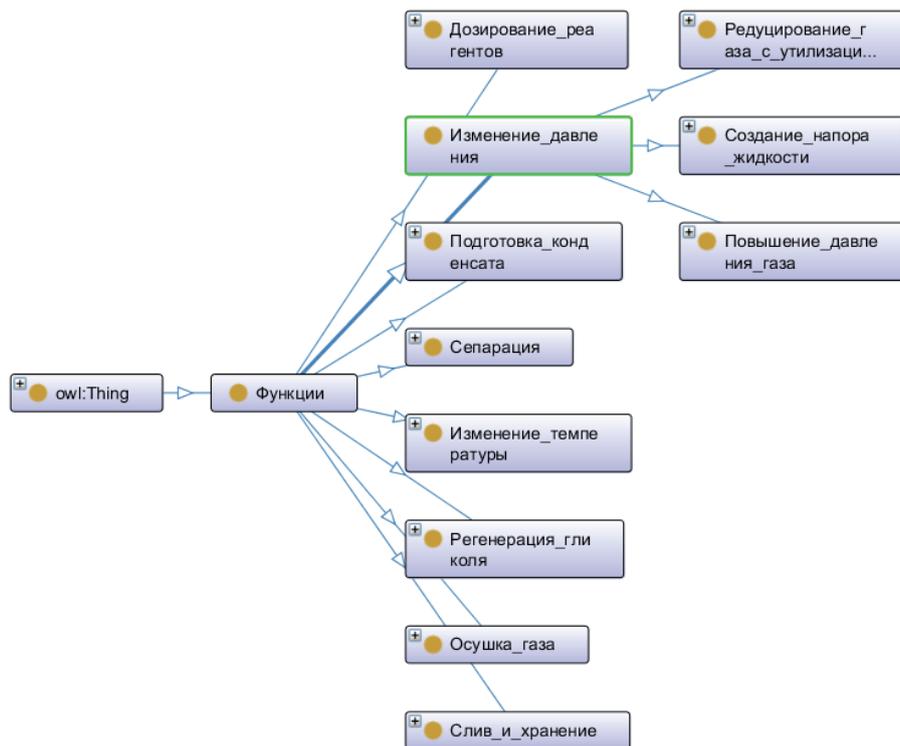


Рисунок 5 - Фрагмент онтологии функций в рамках описания УКПГ

Функциональные возможности онтологической БЗ определяются пользовательскими ролями и соответствующими им правами доступа: инженеры по знаниям могут дополнять онтологию новыми концептами и отношениями; специалисты по БД вносят экземпляры объектов, включая их технико-стоимостные параметры; пользователи (инженерно-технический персонал) имеют доступ для просмотра онтологии и получения необходимой информации. Таким образом выполняется требование открытости онтологической модели - возможность пополнения онтологической модели новыми концептами и отношениями, что позволит решать новые задачи.

2 Программный прототип для концептуального проектирования УКПГ

Результаты онтологического моделирования стали основой для создания БЗ и реализации программного прототипа для концептуального проектирования УКПГ. Сложность проектирования УКПГ связана с разнообразием параметров и состава потока углеводородов на входе, значения которых влияют на состав, конфигурацию и параметры оборудования, входящего в состав установки. Это обуславливает множество возможных вариантов компоновок и спецификаций тех объектов, которые рассматриваются в процессе концептуального проектирования. Программа автоматического конфигурирования должна обеспечить быструю генерацию вариантов с учётом возможных ограничений и требований к составу и параметрам товарных продуктов, а также оценку вариантов по критериям стоимости в целях последующего обоснования выбора наиболее подходящего из них. Вывод результатов работы прототипа осуществляется в форме, понятной инженеру-технологу, – в виде технологической схемы с отображением атрибутивной информации на блоках этой схемы.

На рисунке 6 представлена архитектура программного прототипа, который состоит из следующих блоков:

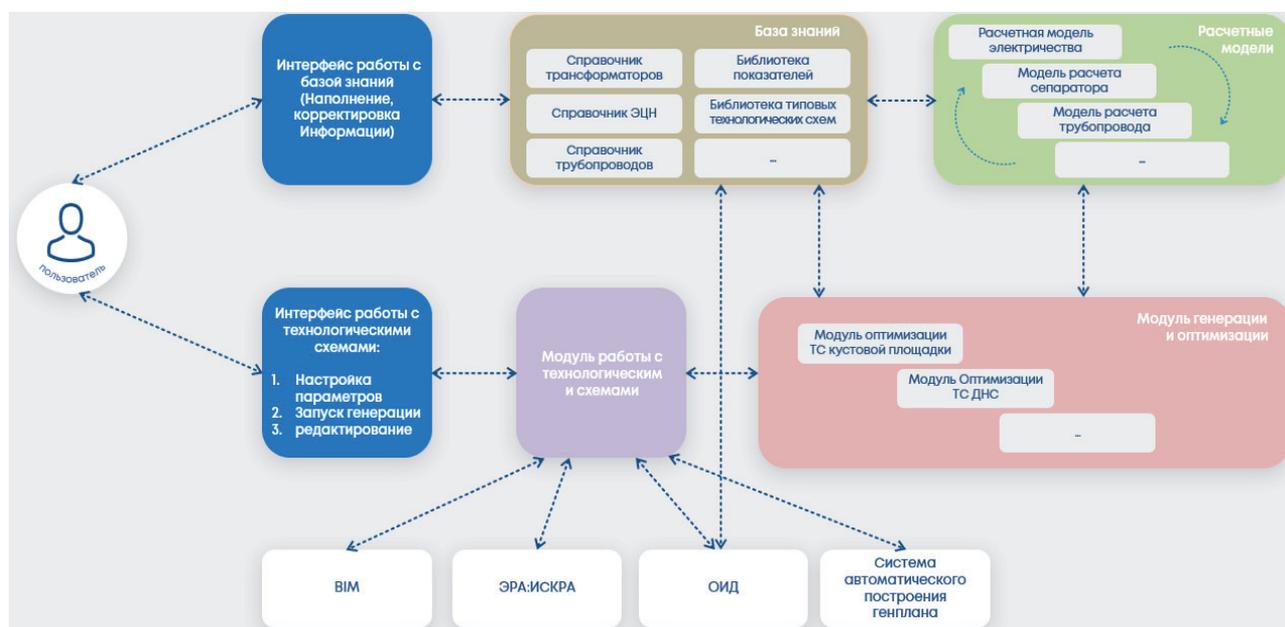


Рисунок 6 – Архитектура программного прототипа

- *интерфейс пользователя* служит для запуска расчётов, отображения полученных результатов, а также для редактирования сгенерированной технологической схемы;
- *БЗ* содержит знания о предметной области, сформированные на основе разработанных онтологических моделей; включает перечень блоков, функциональные взаимосвязи и отношения между ними;
- *расчётные модели* используются для расчёта материального баланса и физических параметров потока, на их основе по данным входного потока вычисляются параметры необходимого оборудования;
- *модуль генерации и оптимизации* служит для генерации технологической схемы с использованием алгоритмов работы со знаниями и расчётными моделями;
- *модуль работы с технологическими схемами* используется для преобразования технологической схемы в графический вид и интеграции со сторонними системами.

Решение задачи построения технологической схемы УКПГ состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 7.

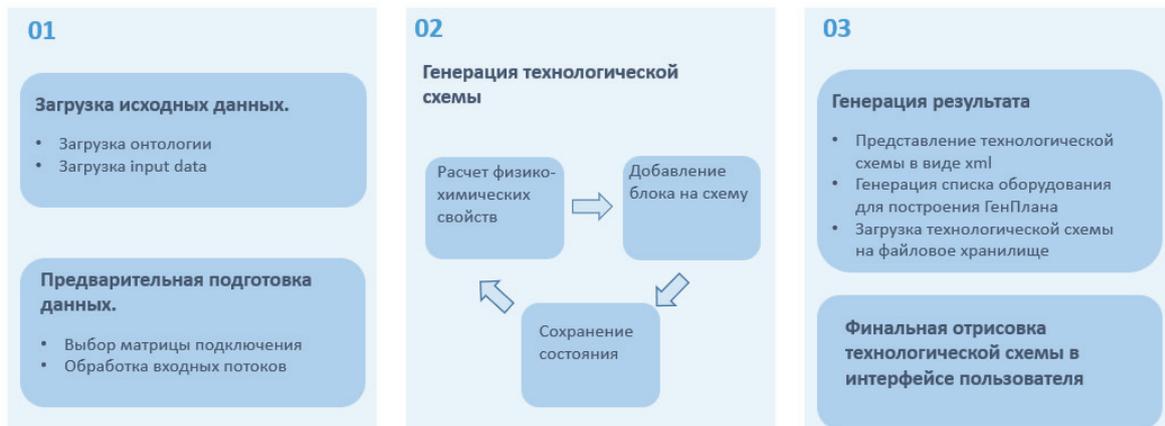


Рисунок 7 – Этапы построения технологической схемы

Обращение к онтологическим моделям БЗ, приведённым на рисунке 1, происходит итеративно на всём цикле построения и расчёта технологической схемы. После внесения пользователем товарной корзины продуктов определяются применимые варианты технологической схемы, описанные в онтологии процессов. Состав блоков УКПГ, выбранных на предыдущем этапе, формируется в ходе обращения к онтологиям партономия и таксономия для подбора подходящих в текущих проектных условиях объектов. Поиск вариантов объектов происходит с помощью онтологии функций для решения задачи подбора альтернатив. После построения технологической схемы выполняется расчёт параметров потока и оборудования на основе атрибутивной онтологии и онтологии расчётных моделей. Проверка исполнения требований от заинтересованных сторон и нормативно-технической документации осуществляется на базе онтологии требований. Спецификации экземпляров объектов определяются при обращении к БД оборудования, которая содержит информацию о технико-стоимостных параметрах объектов от заводов-изготовителей.

Программная реализация выполнена с помощью *Python 3.6.9*, *PostgreSQL*, *draw.io*, *FastAPI*, *AWS S3*. Использована гексагональная архитектура для построения технологической схемы и *REST* для приложения.

3 Пример работы программного прототипа при конфигурировании УКПГ

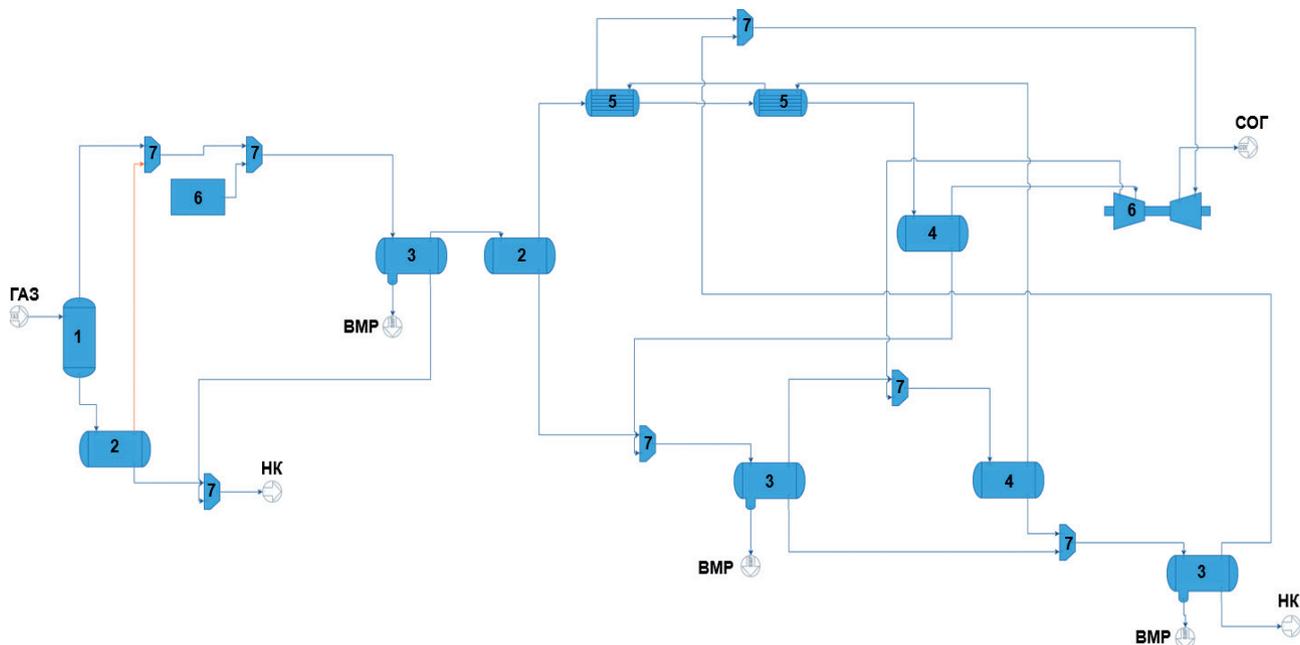
Работа программного прототипа проверена на объекте компании «Газпром нефть», расположенного на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. В качестве исходных данных использовались:

- сведения по компонентному составу смеси на входе по годам;
- свойства входного потока по годам;
- товарная корзина продуктов на выходе;
- требуемые свойства продуктов на выходе.

На основе входных данных и условий продуктовой корзины, которая в данном случае включает в себя сухой отбензиненный газ (СОГ) и нестабильный конденсат (НК), построена технологическая схема подготовки газа по автоматически выбранной технологии низкотемпературной сепарации с турбодетандером и получена следующая информация:

- технологическая схема с рассчитанными показателями в каждом узле;
- экспликация оборудования.

Результат построения технологической схемы с помощью программного прототипа показан на рисунке 8.



1 – сепаратор-пробоуловитель, 2 – первичный сепаратор, 3 – трёхфазный сепаратор, 4 – низкотемпературный сепаратор, 5 – рекуперативный теплообменник, 6 – турбодетандер, 7 – миксер, ВМР – водометанольный раствор, ГАЗ - сырой газ из скважин на входе в УКПГ, СОГ - сухой отбензиненный газ, НК - нестабильный конденсат

Рисунок 8 – Фрагмент технологической схемы по подготовке газа

Газ из скважин поступает в сепаратор-пробоуловитель (1), где происходит отделение жидкой фазы (пластовой воды и сконденсировавшегося углеводородного конденсата) и механических примесей. Жидкая фаза проходит через первичный сепаратор (2) и, смешиваясь с отделившейся жидкой фракцией в трёхфазном сепараторе (3), образует выход по НК. Предварительно очищенный газ поступает в рекуперативный теплообменник (5), где охлаждается встречным потоком газа. Для предотвращения гидратообразования вводят ингибитор (гликоль или метанол) с помощью блока дозирования реагента (6). После прохождения теплообменника (5) охлаждённый газ поступает на низкотемпературный сепаратор (4), затем на турбодетандер (6) с последующим снижением температуры потока за счёт детандирования, после чего чистый газ направляется в коллектор или магистральный газопровод. Жидкая фаза из низкотемпературного сепаратора поступает в трёхфазный сепаратор с отделением газа, водного раствора ингибитора и конденсата. Водный раствор ингибитора направляется на регенерацию, а конденсат – на последующую стабилизацию на установке стабилизации конденсата.

В таблице 2 приведён перечень объектов сгенерированной технологической схемы, включая модель, количество и стоимость по каждой позиции оборудования, в сравнении с проектными данными, полученными по результатам моделирования процесса подготовки газа и конденсата в программном обеспечении *Aspen HYSYS*¹.

Из таблицы 2 видно, что рассмотренные технологической схемы сопоставимы по позициям объектов в составе УКПГ, однако есть небольшие различия по количеству и стоимости оборудования, связанные с особенностями расчётных алгоритмов.

Таким образом, проверка работы программного прототипа показала высокую сходимость с результатами моделирования процесса подготовки газа в *Aspen HYSYS*.

¹ *Aspen Hysys* (или просто *Hysys*) — симулятор химических процессов, разработанный *Aspen Technology, Inc.* и используемый для математического моделирования таковых, от единичных реакций до полного цикла процессов на химических и нефтеперерабатывающих заводах.

Заключение

ИС ПКПМ включает онтологическую БЗ и программный прототип для построения технологических схем системы подготовки газа. ИС ПКПМ выполняет автоматическое конфигурирование системы подготовки газа, включая подбор состава и количества оборудования, построение взаимосвязанной цепочки объектов на основе требований и условий эксплуатации.

Таблица 2 – Сравнение оборудования в составе сгенерированной технологической схемы с проектными данными

Наименование объекта	Данные программного прототипа			Данные по проекту		
	Модель	Кол-во, шт.	Стоимость, млн.руб.	Модель	Кол-во, шт.	Стоимость, млн.руб.
Сепаратор-пробоуловитель	НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ)	6	55.355	НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ)	6	55.355
Сепаратор-первичный	НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ)	13	23.322	НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ)	13	23.322
Трехфазный сепаратор	НГСВ-I-2,5-3000 100 м3	1	12.832	НГСВ-I-4,0-3000 100 м3	8	153.768
	НГСВ-I-1,0-3000 100 м3	5	36.376			
Низкотемпературный сепаратор	НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ)	4	36.903	НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ)	13	23.322
	НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ)	20	35.880			
Рекуперативный теплообменник	Теплообменник газ-конденсат 123,9 м2	10	85.931	Теплообменник газ-конденсат 123,9 м2	14	120.304
Турбодетандер	АДКГ-3,7 млрд.м3/год (12,9 МПа/10,4 МПа)	4	359.859	АДКГ-3,7 млрд.м3/год (12,9 МПа/10,4 МПа)	3	292.394
Суммарная стоимость УКПГ, млн.руб.			646.461			668.466
Отклонение по стоимости, млн.руб.						22.004
Отклонение по стоимости, %						3.29

Применение ИС ПКПМ позволит снизить трудоёмкость проектных работ и ускорить сроки ввода объектов в эксплуатацию.

Тестирование ИС ПКПМ, проведённое на основе данных одного из газовых месторождений компании «Газпром Нефть», показало сходимость между фактической и построенной в прототипе технологическими схемами подготовки газа, что подтверждает пригодность алгоритмов расчёта параметров потока и оборудования.

Список источников

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 5 Edited by PMI. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.
- [2] *Omoregie U.* Megaprojects, Complexity, and Investment Decisions. Open Journal of Business and Management. 2016. Vol.4. P.219-224. DOI:10.4236/ojbm.2016.42023.
- [3] *Engen S., Falk K., Muller G.* The Need for Systems Awareness to Support Early-Phase Decision-Making — A Study from the Norwegian Energy Industry. Systems. 2021. Vol.9. P.47. DOI:10.3390/systems9030047.
- [4] *Gonzales J.* Cost-cutting as and innovation driver among suppliers during an industry Downturn. In Petroleum Industry Transformation: Lessons from Norway and Beyond; Thune, T., Engen, O.A., Wicken, O., Eds.; Routledge: Oxfordshire, UK. 2018. P.70–83. DOI:10.4324/9781315142456-5.
- [5] *Яковлев В.В., Хасанов М.М., Ситников А.Н., Прокофьев Д.О., Пустовских А.А., Маргарит А.С., Симонов М.В., Перец Д.С.* Направления развития когнитивных технологий в периметре Блока разведки и добы-

- чи компании «Газпром нефть». *Нефтяное хозяйство*. 2017. Том.12. С.6-9. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-6-9.
- [6] **Шушаков А.А., Билинчук А.В., Павлечко Н.М., Халиков Ф.Н., Сулейманов А.Г., Ситников А.Н., Слабецкий А.А., Тепляков Н.Ф., Саранулов Н.П., Шестаков Д.А., Мансафов Р.Ю.** «ЭРА:Добыча» – интегрированная платформа для повышения эффективности эксплуатации механизированного фонда скважин. *Нефтяное хозяйство*. 2017. Том.12. С.60–63. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-60-63.
- [7] **Хасанов М.М., Максимов Ю.В., Сударь О.О., Можчиля А.Ф., Старостенко Р.В., Вершинин С.А., Пашкевич Л.А., Третьяков С.В.** Ценностно-ориентированная инженерия в «Газпром нефти». *Нефтяное хозяйство*. 2019. Том.12. С.6-11. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-6-11.
- [8] **Abramov A.** Agile methodology of well pad development. *J Petrol Explor Prod Technol*. 2020. Vol.10. P.3483–3496. DOI:10.1007/s13202-020-00993-3.
- [9] **Abramov A.** Optimization of well pad design and drilling – well clustering. *Petroleum Exploration and Development*. 2019. Vol.46(3). P.614-620. DOI:10.1016/S1876-3804(19)60041-8.
- [10] **Miller W.** Future of Systems Engineering. INCSOE 2019 International Symposium. Torrance, US-CA, January 28, 2019.
- [11] **Madni A.** Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. *Insight*. 2020. Vol.23. P.31-36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [12] **Rouse W.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers, *Insight*. 2020. Vol.23. P.52-54. DOI:10.1002/inst.12286.
- [13] **Mabkhot M., Al-Samhan A., Hidri L.** An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. Vol.1. P.1-18. DOI:10.1155/2019/2505183.
- [14] **Glukhikh I., Glukhikh D.** Case based reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. In: Proceedings of the CEUR Workshop 2021. Germany. 2021. 10 p. <http://ceur-ws.org/Vol-2843/paper038.pdf>.

Сведения об авторах

Глухих Игорь Николаевич, 1965 г. рождения. Окончил Киевский институт инженеров гражданской авиации в 1989 г., д.т.н. (2001). Заведующий кафедрой информационных систем в ТюмГУ, научный руководитель Центра системного инжиниринга в Политехнической школе ТюмГУ. Научные интересы: вопросы разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений при инжиниринге и эксплуатации сложных технологических объектов. ORCID: 0000-0002-0683-6138; Author ID (РИНЦ): 132551; Author ID (Scopus): 14622542900; Researcher ID (WoS): ABC-6161-2021. i.n.glukhikh@utmn.ru.



Шевелев Тихон Геннадьевич, 1980 г. рождения. Окончил Новосибирский государственный университет в 2002 году. Директор по развитию функции «Инжиниринг. Реинжиниринг» в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: системная инженерия, технологию нефти и газа. ORCID: 0000-0002-9513-9093; Author ID (РИНЦ): 113213; Author ID (Scopus): 6507229047. shevelev.tg@gazpromneft-ntc.ru.



Панов Роман Алексеевич, 1978 г. рождения. Окончил Томский государственный архитектурно-строительный университет в 2000 году. Директор программ технологического развития в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: инжиниринг и проектирование объектов нефтегазодобывающего комплекса. Author ID (Scopus): 55650225700. panov.ra@gazprom-neft.ru.



Изотов Артем Михайлович, 1983 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет в 2006 году. Руководитель направления центра компетенций по системному инжинирингу в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: инжиниринг и проектирование объектов нефтегазодобывающего комплекса. ORCID: 0000-0001-9535-5784. izotov.am@gazpromneft-ntc.ru.



Писарев Михаил Олегович, 1982 г. рождения. Окончил Омский государственный университет в 2004 году. Директор Политехнической школы в ТюмГУ. Научные интересы: разработка нефтяных и газовых месторождений, системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли. ORCID: 0000-0003-0450-4735; Author ID (РИНЦ): 770379; Author ID (Scopus): 57163038100. m.o.pisarev@utmn.ru.



Лисс Дмитрий Александрович, 1980 г. рождения. Окончил Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (2003). Зам. директора по научно-исследовательской и инновационной работе в Политехнической школе ТюмГУ. Научные интересы: системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли, инженерия автономных систем, проектирование технологических схем. ORCID: 0000-0001-8933-5680. d.a.liss@utmn.ru.



Быков Виталий Станиславович, 1990 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет в 2013 году. Руководитель продукта в ООО «Цифровое проектирование». Научные интересы: нефтегазовый инжиниринг, автоматизация технологических процессов, системный инжиниринг, концептуальное проектирование, искусственный интеллект, нейронные сети. ORCID 0000-0003-3811-0443. bykov.v@numdes.com.



Абрамов Александр Викторович, 1978 г. рождения. Окончил Волгоградский государственный технический университет в 2003 г., PhD (2010). Ведущий аналитик в ООО «Цифровое проектирование». Научные интересы: водородная энергетика, вычислительная химия и материаловедение, геологическое хранение диоксида углерода, кустовое бурение, концептуальное проектирование. ORCID: 0000-0003-0630-2651. abramov.a@numdes.com.



Нониева Кристина Захаровна, 1995 г. рождения. Окончила ТюмГУ в 2019 году. Руководитель группы в Центре системного инжиниринга ТюмГУ, аспирант кафедры информационных систем ТюмГУ. Научные интересы: системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли, разработка онтологических баз знаний, автопроектирование технологических схем. ORCID: 0000-0002-2999-2977; Author ID (РИНЦ): 1067816; Author ID (Scopus): 57202381062; k.z.nonieva@utmn.ru ✉

Поступила в редакцию 07.10.2022, после рецензирования 22.11.2022. Принята к публикации 28.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531

Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models

© 2022, I.N. Glukhikh¹, T.G. Shevelev², R.A. Panov², A.M. Izotov², M.O. Pisarev¹, D.A. Liss¹, V.S. Bykov³, A.V. Abramov³, K.Z. Nonieva¹ ✉

¹ University of Tyumen, Systems Engineering Center, Tyumen, Russia

² Gazprom Neft Science and Technology Center (Gazpromneft STC LLC), Saint-Petersburg, Russia

³ Digital design, LLC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article presents a description of an intelligent system for supporting the conceptual design of fields, which includes an ontological knowledge base and a software prototype for automatically configuring a gas treatment system. The ontological knowledge base acts as a tool for preservation and reproduction of infrastructure solutions, which have shown effectiveness in the implementation of oil and gas projects. Model-layers of the ontology are described, including the following ontologies: partonomy, taxonomy, attributive ontology, ontology of processes, ontology of functions, ontology of requirements, ontology of computational models, ontology of equipment. Each ontology layer contains the necessary knowledge for configuring the gas treatment system, formalized using a variety of concepts and relationships between them. Relying on the ontological approach and the function-oriented ontology, a software prototype has been created to solve the following tasks: configuration to requirements, checking the fulfillment of requirements and identifying inconsistencies when changing configurations. The integration of knowledge engineering methods and rigorous mathematical algorithms in decision-making processes makes it possible to use both objective physical laws of oil and gas processes and less formalized information about objects and relations between them. Automatic generation of tech-

nological options based on multiple requirements is intended for use in the early stages of design and aims to speed up commissioning and reduce changes.

Key words: knowledge engineering, applied ontology, ontology of a gas treatment system, conceptual design of fields, automatic configuration of technological schemes, software prototype.

For citation: Glukhikh IN, Shevelev TG, Panov RA, Izotov AM, Pisarev MO, Liss DA, Bykov VS, Abramov AV, Nonieva KZ. Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

- Figure 1 - Composition of the ontology in solving the tasks of the IS SFCD
- Figure 2 - A Fragment of the partonomy ontological model as part of the description of the UKPG system
- Figure 3 - A Fragment of the taxonomy ontological model within the description of the UKPG system
- Figure 4 - A Fragment of the ontology of processes within the description of the UKPG system
- Figure 5 - A Fragment of the ontology of functions within the description of the UKPG system
- Figure 6 - Software prototype architecture
- Figure 7 - Stages of building a technological scheme
- Figure 8 - A Fragment of the process flow diagram for gas treatment
- Table 1 - The composition of the ontology in solving intellectual systems problems
- Table 2 - Comparison of equipment in the generated flow diagram with design data

References

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 5 Edited by PMI. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.
- [2] **Omoregie U.** Megaprojects, Complexity, and Investment Decisions. *Open Journal of Business and Management*. 2016; 4: 219-224. DOI:10.4236/ojbm.2016.42023.
- [3] **Engen S, Falk K, Muller G.** The Need for Systems Awareness to Support Early-Phase Decision-Making—A Study from the Norwegian Energy Industry. *Systems*. 2021; 9: 47. DOI:10.3390/systems9030047.
- [4] **Gonzales J.** Cost-Cutting as and Innovation Driver Among Suppliers During an Industry Downturn. In *Petroleum Industry Transformation: Lessons from Norway and Beyond*; Thune, T., Engen, O.A., Wicken, O., Eds.; Routledge: Oxfordshire, UK. 2018. P.70–83. DOI:10.4324/9781315142456-5.
- [5] **Yakovlev V, Khasanov M, Sitnikov A, Prokofiev D, Pustovskikh A, Margarit A, Simonov M, Perets D.** The directions of cognitive technologies development in the Upstream Division of Gazprom Neft Company [Russian]. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*. 2017; 12: 6-9. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-6-9.
- [6] **Shushakov A, Bilinchuk A, Pavlechko N, Khalikov F, Suleimanov A, Sitnikov A, Slabetsky A, Teplyakov N, Sarapulov N., Shestakov D, Mansafov R.** ERA: Production, an integrated platform for increasing the efficiency of the operation of the artificial lift and oil fields [Russian]. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry* 2017; 12: 60–63. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-60-63.
- [7] **Khasanov M, Maksimov Y, Sudar O, Mozhchil A, Starostenko R, Vershinin S, Pashkevich L, Tretiakov S.** Value-driven engineering in Gazprom Neft. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry* [In Russian]. 2019; 12: 6-11. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-6-11.
- [8] **Abramov A.** Agile methodology of well pad development. *J Petrol Explor Prod Technol*. 2020; 10: 3483–3496. DOI:10.1007/s13202-020-00993-3.
- [9] **Abramov A.** Optimization of well pad design and drilling – well clustering. *Petroleum Exploration and Development*. 2019; 46(3): 614-620. DOI:10.1016/S1876-3804(19)60041-8.
- [10] **Miller W.** Future of Systems Engineering. INCSOE 2019 International Symposium. Torrance, US-CA, January 28, 2019.
- [11] **Madni A.** Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. *Insight*. 2020; 23: 31-36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [12] **Rouse W.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers. *Insight*. 2020; 23: 52-54. DOI:10.1002/inst.12286.

- [13] **Mabkhot M, Al-Samhan A, Hidri L.** An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019; 1: 1-18. DOI:10.1155/2019/2505183.
- [14] **Glukhikh I, Glukhikh D.** Case based reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. In: *Proceedings of the CEUR Workshop 2021*. Germany.2021. 10 p. <http://ceur-ws.org/Vol-2843/paper038.pdf>.
-

About the authors

Igor Nikolaevich Glukhikh, born in 1965. Graduated from Kiev Institute of Civil Aviation Engineers in 1989, DrS (2001). Head of the Department of Information Systems at Tyumen State University, Scientific Leader of the Center for Systems Engineering at Polytechnic School of Tyumen State University. Scientific interests include development of intellectual support systems for decision making in engineering and operation of complex technological objects. ORCID: 0000-0002-0683-6138; Author ID (RSCI): 132551; Author ID (Scopus): 14622542900; Researcher ID (WoS): ABC-6161-2021. i.n.glukhikh@utmn.ru.

Tikhon Gennadyevich Shevelev, born in 1980. Graduated from Novosibirsk State University in 2002. Development Director Functions "Engineering. Reengineering" at OOO "Gazpromneft NTC". Scientific interests include systems engineering, oil and gas technology. ORCID: 0000-0002-9513-9093; Author ID (RSCI): 113213; Author ID (Scopus): 6507229047. shevelev.tg@gazpromneft-ntc.ru.

Roman Alexeyevich Panov, born in 1978. Graduated from Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering in 2000. Director of Technological Development Programs at Gazpromneft STC LLC. His scientific interests include engineering and design of oil and gas production facilities. Author ID (Scopus): 55650225700. panov.ra@gazprom-neft.ru.

Artem Mikhailovich Izotov, born in 1983. Graduated from St. Petersburg State Polytechnic University in 2006. Head of System Engineering Competence Center at Gazpromneft STC LLC. Area of expertise includes engineering and design of oil and gas production facilities. ORCID: 0000-0001-9535-5784. izotov.am@gazpromneft-ntc.ru.

Mikhail Olegovich Pisarev, born in 1982. Graduated from Omsk State University in 2004. Director of the Polytechnic School at Tyumen State University. Research interests include oil and gas field development and system engineering in the oil and gas industry. ORCID: 0000-0003-0450-4735; Author ID (RSCI): 770379; Author ID (Scopus): 57163038100. m.o.pisarev@utmn.ru.

Dmitry Alexandrovich Liss, born in 1980. Graduated from Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics in 2003. Deputy Director for Research and Innovation Work at Polytechnic School of Tyumen State University. His research interests include system engineering in the oil and gas industry, autonomous systems engineering, and process flow diagrams auto-design. ORCID: 0000-0001-8933-5680. d.a.liss@utmn.ru.

Vitaly Stanislavovich Bykov, born in 1990. Graduated from St. Petersburg State Polytechnic University in 2013. Product Manager at Digital Design LLC. Research interests include oil and gas engineering, process automation, systems engineering, conceptual design, artificial intelligence, and neural networks. ORCID 0000-0003-3811-0443. bykov.v@numdes.com.

Alexander Viktorovich Abramov, born in 1978. Graduated from Volgograd State Technical University in 2003, PhD (2010). Leading analyst at Digital Engineering Ltd. Research interests include hydrogen energy, computational chemistry and materials science, geological storage of carbon dioxide, cluster drilling, and conceptual design. abramov.a@numdes.com.

Kristina Zakharovna Nonieva, born in 1995. Graduated from Tyumen State University in 2019. Team lead in the Center for Systems Engineering of Tyumen State University, postgraduate student of the Information Systems Department of Tyumen State University. Research interests include system engineering in oil and gas industry, development of ontological knowledge bases, and auto-design of technological schemes. ORCID: 0000-0002-2999-2977; Author ID (RSCI): 1067816; Author ID (Scopus): 57202381062. k.z.nonieva@utmn.ru ✉

Received October 7, 2022. Revised November 22, 2022. Accepted November 28, 2022.



Проектирование силовых конструкций с использованием топологической оптимизации и технологии аддитивного производства

© 2022, И.С. Ткаченко, Е.И. Куркин ✉, О.Е. Лукьянов, Е.А. Кишов, Х. Галинсога-Самора, В.Г. Смелов, В.О. Чертыковцева

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

Аннотация

Целью работы является создание интегрированной технологии проектирования силовых конструкций с использованием топологической оптимизации и аддитивного производства, а также её апробация на примере конкретной задачи проектирования и изготовления конструкции аэрокосмического назначения. Предлагаемая технология включает основные этапы проектирования, учитывающие особенности аддитивного производства. В системе *ANSYS* спроектирована силовая схема конструкции на основе топологической оптимизации. Для уточнения размеров и формы силовых элементов конструкции использован модуль, позволяющий оптимизировать геометрическую модель конструкции путём смещения узлов расчётной сетки модели. Результаты поверочного расчёта показали, что спроектированная конструкция имеет значительно меньшую массу по сравнению с прототипом и не уступает ему по жёсткости, прочности и минимальным значениям частот собственных колебаний. Показана реализация производственного процесса для создания заготовки образца конструкции с использованием технологии селективного лазерного сплавления. Разработка 3D-модели заготовки образца конструкции выполнена в программном продукте *Siemens NX*. Для рассматриваемой конструкции применён метод компенсации остаточных напряжений на основе оптимизации теплоотводов на технологической платформе построения и метод предварительной коррекции геометрии заготовки детали в программном комплексе *SimufactAdditive*. Полученные результаты показывают возможности внедрения аддитивного производства совместно с топологической оптимизацией в конструкции космических аппаратов, в том числе в силовые конструкции их двигательных установок.

Ключевые слова: проектирование, силовая конструкция, топологическая оптимизация, морфинг, прочностной расчёт, селективное лазерное сплавление.

Цитирование: Ткаченко И.С., Куркин Е.И., Лукьянов О.Е., Кишов Е.А., Галинсога-Самора Х., Смелов В.Г., Чертыковцева В.О. Проектирование силовых конструкций с использованием топологической оптимизации и технологии аддитивного производства // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.532-546. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-532-546.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Программы развития Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева на 2021–2030 годы в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», соглашение №30/22Б от 15.06.2022.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В области оптимизации конструкций можно выделить ряд направлений (рисунок 1):

- параметрическая оптимизация размеров изделия, заключающаяся в подборе наилучшего сочетания значений геометрических параметров конструкции с точки зрения выбранного критерия [1];

- непараметрическая оптимизация формы, позволяющая деформировать сетку численной модели механики твёрдого тела с учётом текущего поля напряжений за счёт смещения её узлов в пространстве по определённому алгоритму [2];
- топологическая оптимизация, позволяющая генерировать равнопрочную топологическую модель конструкции с учётом рассматриваемого спектра нагрузок и ограничений [3, 4].



Рисунок 1 – Общая классификация задач оптимизации конструкций [5]

Перечисленные виды оптимизации, обладая своими особенностями, преимуществами и недостатками, находят применение на различных этапах создания конструкций, дополняя друг друга. На рисунке 2 показана одна из возможных принципиальных схем проектирования изделия с использованием различных видов оптимизации.

Топологическая оптимизация хорошо подходит для этапа концептуального проектирования, когда проектанту важно определиться с наиболее подходящей топологией тела для прогнозирования оптимального распределения материала в пределах заданного начального проектного пространства конструкции. На дальнейших этапах проектирования, включая стадии доводок после проведения поверочных расчётов, удобно иметь геометрическую параметризованную модель изделия для подбора оптимальных размеров конструкции, реализованной в рамках полученной топологии и подлежащей изготовлению доступными технологическими средствами.

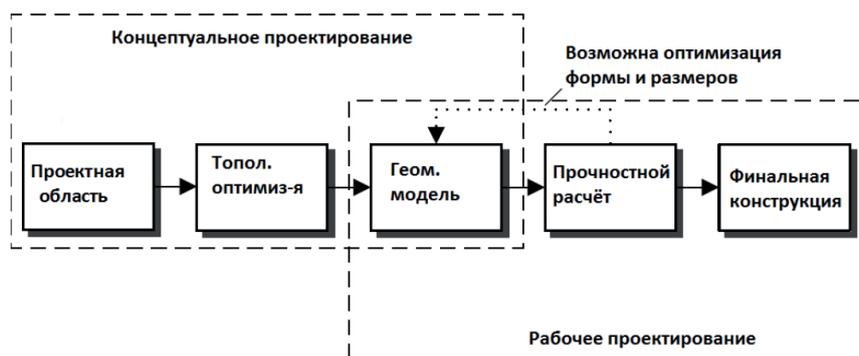


Рисунок 2 – Процесс проектирования, включающий различные виды оптимизации

Топологическая оптимизация направлена на коренное изменение структуры объекта, результаты которой могут быть использованы в качестве основы для всех последующих оптимизаций конструкции. Топологическая оптимизация получила развитие и практическую реализацию с появлением численного математического моделирования механики твёрдого тела и вычислительной техники. Теоретические основы топологической оптимизации были заложены ещё в 60-е годы прошлого столетия. Известны фундаментальные работы А.А. Комарова [6], М. Бендсое [7], В.А. Комарова [8, 9] и др. [10, 11], однако широкое практическое применение в инженерных задачах стало возможным с появлением высокопроизводительных компьютеров в последние годы. На сегодняшний день широко используются: модель тела переменной плотности, предложенная В.А. Комаровым [12], и метод твёрдого изотропного материала с пенализацией *SIMP* (Solid Isotropic Microstructure with Penalization for intermediate densities) [13], реализованный в *ANSYS Mechanical*.

Топологическая оптимизация получила дальнейшее развитие с появлением аддитивных методов производства. Именно эти методы технологически позволяют получать геометрию изделий, наиболее близкую к распределению материала по результатам топологической оптимизации [14-16]. В общем машиностроении аддитивное производство рассматривается как

эффективный способ прототипирования конструкций для опытных изделий, а в аэрокосмической отрасли, ввиду мелкосерийности производства и потребности изготовления изделий сложных форм, аддитивное производство может рассматриваться как технологическое средство для серийных изделий [17, 18]. Так, на некоторых российских двигателестроительных предприятиях за счёт аддитивных технологий упростили процесс изготовления охлаждаемых лопаток турбин газотурбинных двигателей, особенностью которых являются сложнейшие совокупности внутренних каналов охлаждения, производство которых традиционными методами изготовления возможно, но очень сложно.

Несмотря на современный уровень развития вычислительной техники, использование топологической оптимизации для получения геометрически сложных конструкций ограничено из-за сложности полной автоматизации процесса генерации конструкции с использованием этого подхода. Одним из актуальных вопросов при решении задач топологической оптимизации конструкций является поиск методов образования твёрдотельных геометрических моделей на основе полученной топологии. Практическая значимость решения этой проблемы заключается в возможности технологической реализации оптимальной структуры сложной формы и проведения комплекса поверочных расчётов методом конечных элементов, поскольку результат топологической оптимизации – оптимальное распределение материала – сохраняется в виде триангулированной геометрии в формате *STL*¹, не подходящей для проведения инженерного анализа, не подлежащей параметризации.

В начале 2000-х годов были получены существенные достижения в области трёхмерного геометрического моделирования: накопленный опыт использования сплайн-функций позволил получить разновидность В-сплайнов *NURBS* (*Non-Uniform Rational B-Splines*, неоднородный рациональный В-сплайн) [19-21], которые имеют высокую гладкость и способны аппроксимировать геометрию высокой сложности, что необходимо для создания математически описываемой геометрии по результатам топологической оптимизации.

Получение геометрической модели с помощью *NURBS*-моделирования существенно облегчает создание твёрдотельной геометрической модели, основываясь на результатах распределения плотностей материала после топологической оптимизации. Геометрическая модель сложной формы, полученная на основе *NURBS*-поверхностей, трудно поддаётся описанию интегральными параметрами (например, удлинение стержня стержневой конструкции, отношение радиуса и толщины стенки стержня и т.д.) для возможности её быстрого перестроения на этапе доводок после поверочных расчётов. Возможное локальное изменение геометрии путём ручного смещения узлов или полюсов сплайна также является трудно формализуемым и малопроизводительным процессом.

В таких случаях подходит метод непараметрической оптимизации формы. Данный подход позволяет автоматизированно редактировать координаты узлов сетки конечно-элементной модели (КЭМ), полученной на основе *NURBS*-геометрии, по определённому алгоритму на основе получаемого напряжённого состояния на каждом шаге оптимизации.

Таким образом, интеграция оптимизации топологии и непараметрической оптимизации формы позволит лучше формализовать процесс проектирования конструкций под аддитивное производство и существенно облегчить подготовку трёхмерных геометрических моделей для инженерного анализа изделия для поверочных расчётов на доводочных операциях.

Целью работы является получение интегрированной технологии проектирования силовых аэрокосмических конструкций для аддитивного производства с использованием топологической оптимизации, а также её апробация на примере конкретной задачи проектирования и изготовления конструкции аэрокосмического назначения.

¹ *STL* (от англ. *stereolithography*) — формат файла, используемый для хранения трёхмерных моделей объектов в аддитивных технологиях.

1 Интеграция топологической оптимизации и аддитивного производства

Концепция проектирования для аддитивного производства (*Design for Additive Manufacturing* или *DfAM*) позиционируется как тип методов проектирования, с помощью которых функциональные характеристики и(или) другие ключевые аспекты жизненного цикла продукта (технологичность, надёжность, стоимость) могут быть оптимизированы с учётом возможностей технологий аддитивного производства [22-25]. На рисунке 3 представлена последовательность этапов создания изделий согласно этой концепции.

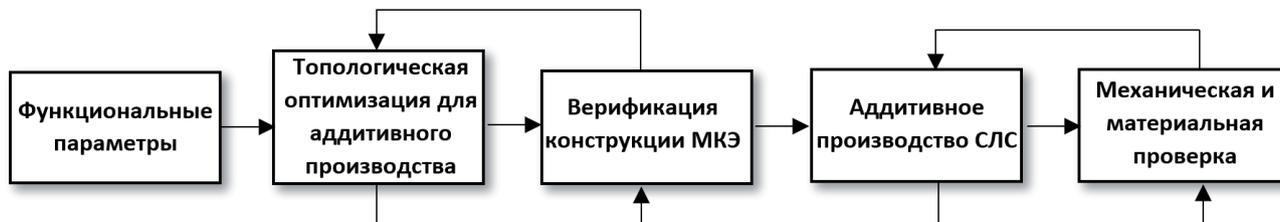


Рисунок 3 – Этапы создания изделий с использованием аддитивного производства *DfAM*

Одним из сложных и трудоёмких этапов в общем процессе проектирования изделия является цикл поверочных расчётов и доводок геометрии. Часто геометрическую модель, полученную аппроксимацией геометрии по результатам топологической оптимизации, трудно подвергнуть параметризации, чтобы используемые параметры могли управлять всеми особенностями сложной геометрии. В работе предлагается устранить перечисленные недостатки за счёт использования В-сплайнов для генерации геометрической модели, подлежащей поверочным расчётам, и за счёт внедрения циклов непараметрической оптимизации формы с использованием деформации сетки КЭМ на основе получаемого напряжённого состояния.

Объединение преимуществ топологической оптимизации, непараметрической оптимизации формы и аддитивного производства в предлагаемом подходе позволяет сократить время создания изделия, снизить трудоёмкость проектных работ.

2 Апробация методики

2.1 Исходные данные

Апробация предлагаемой методики рассмотрена на примере модернизации силовой рамы навески двигателей малого космических аппаратов (МКА) (рисунок 4).

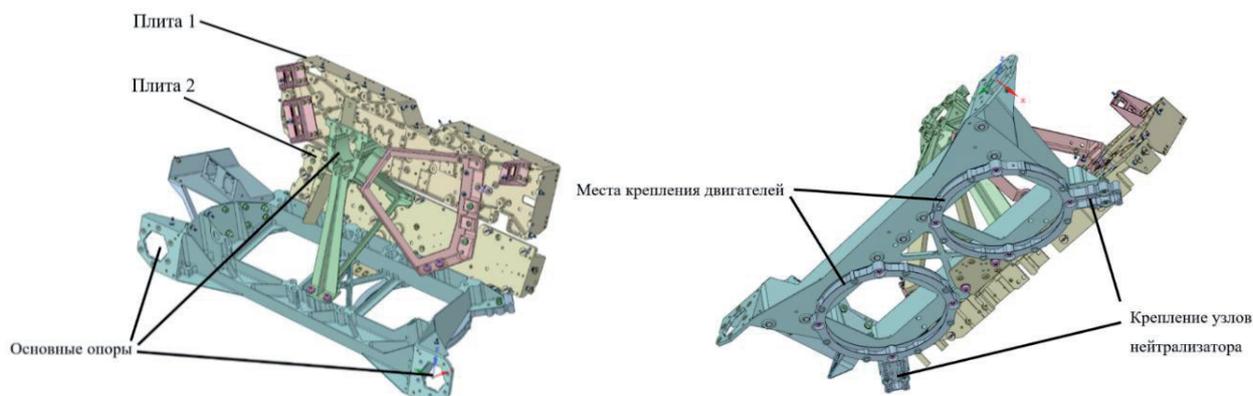


Рисунок 4 – Общий вид силовой рамы (прототип)

В исходном исполнении прототипа конструкции были использованы классические технологии изготовления: литьё и механическая обработка. Применение таких технологий не в полной мере позволяет реализовать преимущества топологической оптимизации.

Аддитивное производство, напротив, позволяет максимально близко воспроизвести топологически оптимальные структуры. В данной работе использовался метод аддитивного производства – селективное спекание металлического порошка (СЛС – селективное лазерное сплавление).

2.2 Технические требования, предъявляемые к конструкции

К конструкции предъявляются следующие требования:

- образец силовой конструкции двигательной установки МКА должен быть разработан для замены силовой рамы как сборочной единицы;
- масса оптимизированной конструкции должна быть снижена не менее чем на 10%;
- жёсткость оптимизированной конструкции должна быть не ниже жёсткости исходной конструкции;
- сократить количество компонентов в конструкции силовой рамы навески двигателей, включая соединительные элементы.

Конструкция нагружена массовыми силами от закреплённых на ней грузов: двух двигателей и двух плит. Рассмотрены три случая нагружения, соответствующие перегрузке вдоль осей X, Y и Z.

Нагрузки, действующие на стадии вывода на орбиту, приложены к местам крепления двигателей и на поверхность плит в виде *Remote Force* (удалённая сила), приложенных к *Remote Point* (удалённая точка), расположенным в центрах масс объектов (рисунок 5).

2.3 Подготовительные операции и топологическая оптимизация

Рама закреплена неподвижно на трёх опорах – две на передней пластине рамы, третья – на треугольнике в ее основании с помощью *Remote Displacement* (удалённое перемещение).

Гексагональная сетка КЭМ имеет существенное преимущество перед тетраэдральной сеткой по объёму занимаемой памяти и скорости решения задачи топологической оптимизации. Поэтому построение расчётной области проводится на основе блоков, имеющих форму гексаэдра, которые затем разбиваются на структурированную сетку.

Размеры проектной области и пропорции её сечения на примитивы соответствуют габаритам исходной конструкции и местам расположения нагрузок. Для топологической оптимизации строится блочно-структурированная сетка гексагональных элементов. Характерный размер элемента составляет 6 мм. Сетка КЭМ состоит из 341145 линейных гексагональных

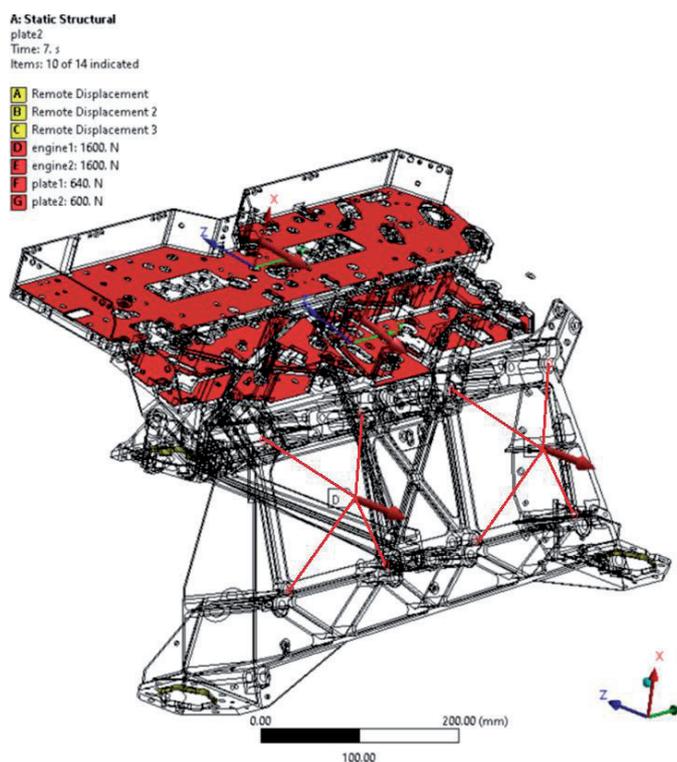


Рисунок 5 – Приложение нагрузок и закреплений к элементам конструкции силовой рамы

расчётных элементов и содержит 357282 узлов (рисунок 6). Количество элементов расчётной сетки растёт кубически по отношению к размеру элемента. Сокращение размера элемента до толщины стенки исходной конструкции требует в 9 раз больше элементов, что требует более 100 Гб оперативной памяти при решении задач и более 45 часов расчётного времени на каждое её решение.

Поэтому топологическая оптимизация была проведена по итерациям. На основе первого приближения топологической оптимизации на построенной КЭМ определено основное расположение силовых элементов. Далее размер проектной области был сокращён и проведено построение сетки расчётной области второго приближения с меньшим размером конечных элементов. Топологическая оптимизация проводится по критерию минимизации энергии деформации (что обеспечивает максимальную жёсткость и равномерное поле эквивалентных напряжений в конструкции) при заданном количестве материала.

Объём проектной области первого приближения составляет 72269 см^3 . Для создания первого приближения топологической оптимизации количество материала определено как 5% от исходной массы, что соответствует 3613 см^3 . Объём исходной конструкции 1409 см^3 , поэтому конструкция первого приближения составляет 2,5 массы исходной детали. Такое приближение соответствует исходной силовой схеме, с учётом того, что толщина стенок исходной детали составляет 2 мм, а размер элементов топологической оптимизации первого приближения 6 мм. Топологическая оптимизация первого приближения сходится за 28 итераций и позволила определить расположение основных силовых элементов конструкции в границах блоков проектной области.

Расчётная сетка второго приближения состоит из 1 640 584 узлов и 1 587 278 линейных элементов гексагональной формы. Характерный размер расчётных элементов сетки второго приближения составляет 3 мм. Топологическая оптимизация второго приближения так же имеет критерий минимизации энергии деформаций при ограничении на массу материала, равную 4% от массы проектной области второго приближения. Объём проектной области второго приближения равен $41 435 \text{ см}^3$, 4% от него составляют $1 657 \text{ см}^3$.

Результаты топологической оптимизации (рисунок 7) второго приближения экспортированы в виде *STL* модели для дальнейшего построения трёхмерной геометрической модели конструкции.

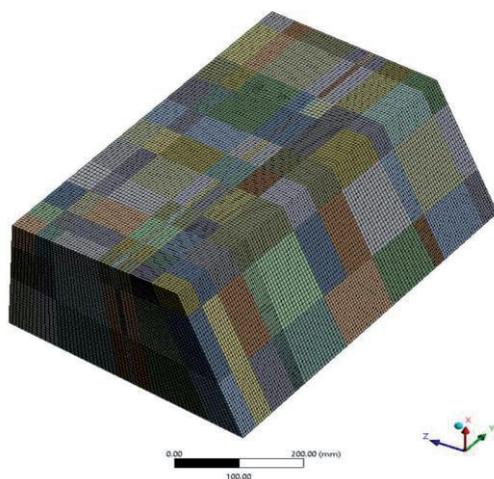


Рисунок 6 – Расчётная сетка КЭМ проектной области первого приближения



Рисунок 7 – Результаты топологической оптимизации второго приближения

2.4 Непараметрическая оптимизация и разработка трёхмерной модели

Для преобразования результатов топологической оптимизации в трёхмерную геометрическую модель использовались методы полигонального моделирования с применением *NURBS*-поверхностей. Размеры элементов топологической оптимизации не позволяют с высокой точностью подобрать размеры поперечных сечений элементов конструкции. Для экспорта распределения плотности материала после топологической оптимизации в геометрический формат данных *STL* использовалась разработанная «Программа Торо2STL» [24]. После преобразования *STL* модели в трёхмерный геометрический объект размеры поперечных сечений не всегда соответствуют необходимым с учётом ограничений по жёсткости, прочности и массе конструкции. Для уточнения размеров и формы поперечных сечений силовых элементов конструкции использован модуль морфинга² системы *ANSYS* (рисунок 8), который позволяет оптимизировать геометрическую модель конструкции путём смещения узлов расчётной сетки конструкции.

Узлы крепления рамы, а также посадочные места под навеску на раму других элементов выполнены с помощью стандартных операций трёхмерного геометрического моделирования и совпадают с крепёжными элементами исходной конструкции прототипа. Для обеспечения малой массы конструкции при удовлетворении требований по потере устойчивости и возможности использования аддитивной технологии СЛС часть элементов конструкции выполнена полой.

Для образования внутренних полостей в стержнях рамы было выполнено эквидистантное смещение внешней поверхности элементов рамы внутрь, на величину заданной толщины стенки и посредством смещённой поверхности была выполнена вырезка внутреннего объёма элементов рамы. После построения модели в системе *Siemens NX* проведён поверочный расчёт. Расчётный объём материала конструкции - 733 см^3 , что составляет 52% от исходного объёма 1409 см^3 . Масса оптимизированной конструкции при условии изготовления её из алюминиевых сплавов составляет 1980 гр.

2.5 Поверочный расчёт

Для сравнения механических характеристик спроектированного кронштейна поверочный расчёт проведен как для исходного, так и для оптимизированного случая. Жёсткость конструкции оценивается по максимальным значениям перемещений, огибающим все случаи нагружения. Проведено сравнение жёсткости всей сборки и отдельно передней панели, на которой закреплены двигатели. Максимальные перемещения исходной конструкции составляют 0,59 мм для сборки и 0,46 мм для передней панели. Максимальные перемещения спроектированной конструкции составляют 0,57 мм для сборки и 0,36 мм для передней панели. Сравнение перемещений при исследованном случае нагружения показывает, что спроектированная конструкция по жёсткости не уступает исходной. Запас жёсткости установки дви-

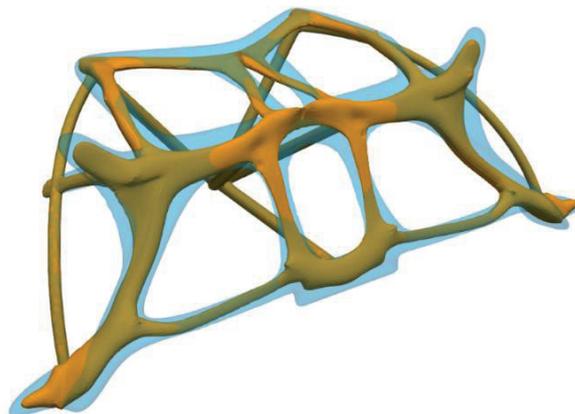


Рисунок 8 – Результат оптимизации формы и размеров поперечных сечений после морфинга: прозрачный синий – исходная геометрия, сплошной оранжевый – *STL* модель после морфинга

² Морфинг (англ. от *morphing* - «трансформация») — технология в компьютерной анимации, создающей впечатление плавной трансформации одного объекта в другой.

гателей на передней панели составляет 21%. Максимальное значение эквивалентных напряжений по Мизесу в спроектированной конструкции составляет 53 МПа, что в 1,9 раза ниже, чем в исходной 102 МПа (рисунок 9), что говорит о большем запасе прочности спроектированной конструкции. Спроектированная конструкция имеет собственные частоты не ниже собственных частот исходной конструкции.

По результатам поверочного расчёта можно сделать вывод, что спроектированная конструкция, обладая существенно меньшей массой (52% от исходной), не уступает ей по жёсткости, прочности и минимальным значениям частот собственных колебаний. При этом изготавливаемая с использованием аддитивных технологий конструкция заменит одной деталью четыре детали исходной конструкции, что уменьшает массу и необходимость использования крепёжных элементов. С учётом проведённого поверочного расчёта можно рекомендовать переход к использованию спроектированных с использованием топологической оптимизации и метода морфинга конструкций [25], изготавливаемых по аддитивным технологиям, в качестве силовых конструкций электрореактивных двигательных установок КА.

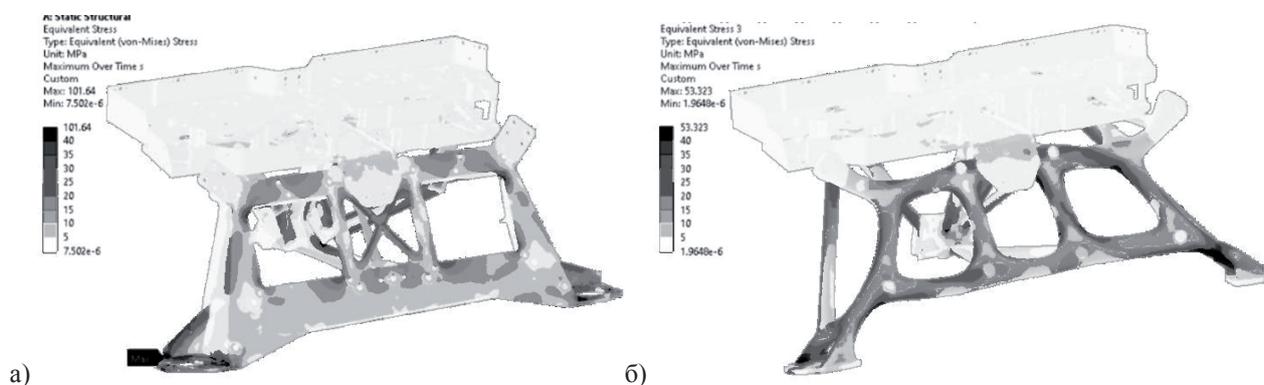


Рисунок 9 – Эквивалентные напряжения по Мизесу в конструкции, МПа:
а) исходная модель; б) спроектированная модель

2.6 Изготовление

К заготовке предъявляются следующие технические требования:

- заготовка образца силовой конструкции изготавливается на основании трёхмерной электронной геометрической модели;
- материал заготовки (порошок алюминиевый);
- точность изготовления;
- следы от поддерживающих структур на поверхностях не допускаются;
- шероховатость поверхности.

Особенностью аддитивных технологий является необходимость применения специальных поддерживающих структур, препятствующих термическим деформациям в строящихся деталях. Материал поддержки строится к тем поверхностям, угол наклона которых относительно платформы построения меньше 45° . Анализ технологичности конструкции модели образца силовой конструкции показал, что все поверхности, на которые строится материал поддержки, открыты для последующей механической обработки.

На поверхностях, точность размеров которых невозможно обеспечить технологией СЛС, к которым подводится материал поддержки или они располагаются непосредственно на платформе построения, добавляется припуск на последующую механическую обработку. Величина припуска получена экспериментальным путём и апробирована в разрабатываемом

технологическом процессе³.

Разработка 3D-модели заготовки образца силовой конструкции была выполнена в программном продукте *Siemens NX*. Отделение заготовки с платформы построения осуществляется электроэрозионной обработкой. Поэтому на элементы крепления был добавлен дополнительный припуск.

Проведён анализ поверхностей на необходимость добавления поддержек. Материал поддержки представляет собой блочную конструкцию с заданной частотой по осям X и Y. Более частая поддержка позволит получить меньшие температурные нагрузки при сплавлении, но сильно затруднит в дальнейшем отделение детали от платформы построения.

Управление основными технологическими параметрами аддитивной установки M350 проводилось с использованием встроенного модуля *BuildProcessor* в программный продукт *MagicsRP*. После назначения основных технологических параметров процесса СЛС был сгенерирован рабочий файл для изготовления детали.

Термическая обработка изготовленной образца силовой конструкции двигательной установки осуществлялась в печи *ProfiCast P300*. После удаления порошка извлечена платформа построения с выращенной деталью из рабочей камеры. Далее деталь прошла дополнительную продувку на подложке, после этого был удалён материал поддержки. После отделения от платформы построения деталь была очищена от окалины и отправлена на механическую обработку. Обработку проводили для поверхностей, на которые был добавлен припуск. После изготовленная деталь подверглась пескоструйной обработке.

Применён метод компенсации остаточных напряжений на основе оптимизации теплоотводов на технологической платформе построения и метод предварительной коррекции геометрии заготовки детали в программном комплексе *SimufactAdditive*. Величина суммарного смещения поверхностей образца силовой конструкции около 2 мм, это объясняется сложной тонкостенной конструкцией изделия. После расчёта модели с заданными параметрами материала поддержки был проведён анализ по параметру, характеризующему вероятность отрыва детали от платформы построения во время печати (*possiblepartfailure*). Наблюдалось отклонение формы поверхностей образца силовой конструкции на расчётной модели (рисунок 10).

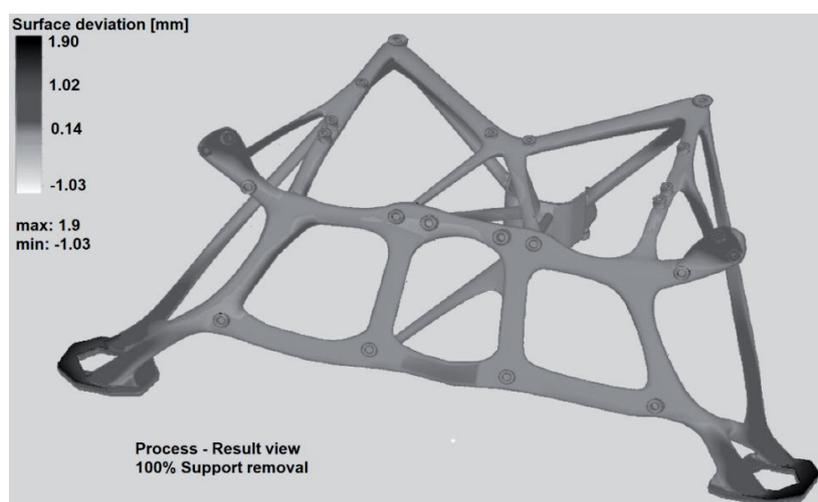


Рисунок 10 – Расчётные отклонения формы образца силовой конструкции

Максимальная величина отклонений от номинальной 3D-модели и рассчитанной модели составляет порядка 1,5 мм по поверхностям элементов крепления образца силовой конструк-

³ Изготовление заготовки образца силовой конструкции производилось на аддитивной установке M350 компании АО «Лазерные системы». Габаритные размеры заготовки образца силовой конструкции составили 778 x 320 x 418 мм.

ции, что не соответствует заданным требованиям по точности изготовления, предъявляемых к конструкции рамы. Для выполнения заданных требований по точности изготовления образца силовой конструкции минимизированы действия остаточных напряжений методом предварительной коррекции геометрии детали. Проведена коррекция модели рассчитанной детали образца силовой конструкции на величину этих деформаций. Расчёт с изменённой геометрией рамы проведён с сохранением всех технологических параметров процесса. Отклонения формы поверхности не превышают значения $\pm 0,2$ мм, что соответствует техническим требованиям на изготовление рамы (рисунок 11).

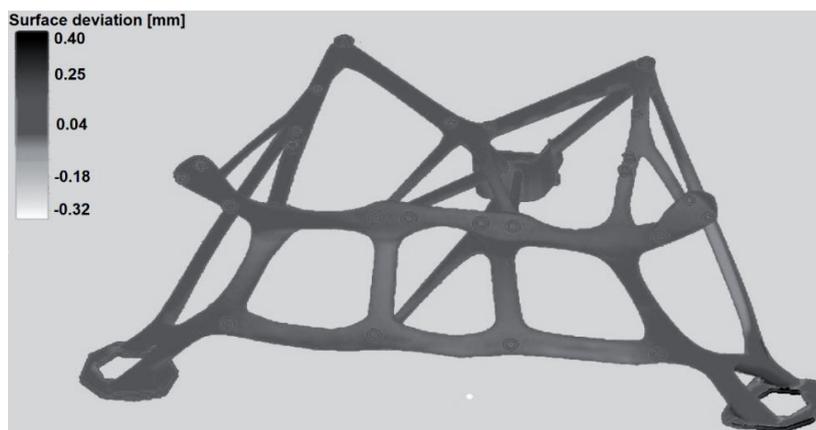


Рисунок 11 – Расчётные отклонения формы образца скорректированной силовой конструкции

Образец силовой конструкции рамы двигательной установки МКА был изготовлен СЛС порошка алюминиевого сплава *AlSi10Mg* (рисунок 12).

Слесарная обработка образца позволила удалить материал поддержки. Внешний вид образца после обработки представлен на рисунке 13.



Рисунок 12 – Результат 3D печати силовой конструкции рамы



Рисунок 13 – Внешний вид образца после удаления материала поддержки

Заключение

Интеграция топологической оптимизации и непараметрической оптимизации формы совместно с геометрическими средствами на основе *NURBS*-поверхностей может позволить сократить время создания деталей минимальной массы сложной формы и снизить трудоём-

кость. На примере разработки образца силовой рамы навески двигателей МКА получены следующие результаты:

- спроектирована силовая схема конструкции рамы двигательной установки для МКА на основе топологической оптимизации;
- построена трёхмерная геометрическая модель конструкции с учётом технологических ограничений СЛС;
- изготовлен экспериментальный образец силовой конструкции рамы двигательной установки путём аддитивной технологии СЛС;
- разработана «Программа Торо2STL» [24], предназначенная для экспорта распределения плотности материала после топологической оптимизации в геометрический формат данных *STL*. Полученный *STL*-файл является носителем формы топологически оптимизированной конструкции и может быть использован в качестве основы для последующего построения геометрической модели конструкции в CAD-системе. Программа работает в среде *ANSYS MAPDL*.

По результатам проведённых расчётов можно сделать вывод, что спроектированная конструкция, обладая существенно меньшей массой (52% от исходной), не уступает ей по жёсткости, прочности и минимальным значениям частот собственных колебаний. При этом изготавливаемая с использованием аддитивных технологий конструкция заменит одной деталью четыре детали исходной конструкции, что уменьшает массу и необходимость использования крепёжных элементов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Christensen P.W., Klarbring A.* An introduction to structural optimization. Berlin: Springer, 2009, 214 p.
- [2] *Groth C., Chiappa A., Biancolini M.E.* Shape optimization using structural adjoint and RBF mesh morphing. *Procedia Structural Integrity*, 8, 2018, P.379–389. DOI:10.1016/j.prostr.2017.12.038.
- [3] *Bendsoe M.P., Sigmund O.* Topology Optimization: Theory, Methods and Applications. New York: Springer, 2003, 271 p.
- [4] *Sigmund O., Maute K.* Topology optimization approaches. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Springer. 2013. Vol.48. Iss 6. P.1031-1055. DOI:10.1007/s00158-013-0978-6.
- [5] *Tang Y., Zhao Y.F.* A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. *Rapid Prototyping Journal*, 3, 2016, P.571-573. DOI:10.1108/RPJ-01-2015-0011.
- [6] *Комаров А.А.* Основы проектирования силовых конструкций. Куйбышев. книжное изд-во, 1965. 88 с.
- [7] *Bendsoe M.P., Kikuchi N.* Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Comp. Methods in Appl. Mech. and Engineering*. 1988. Iss.71. P.197-224.
- [8] *Комаров В.А.* Точное проектирование. *Онтология проектирования*, 2012, № 3(5), С.8-23.
- [9] *Komarov V.A., Kishov E.A., Kurkin E.I., Charkviani R.V.* Aircraft Composite Spoiler Fitting Design Using the Variable Density Model, *Procedia Computer Science*. Vol. 65, 2015. P.99-106. DOI:10.1016/j.procs.2015.09.085.
- [10] *Hassani B., Hinton E.* Homogenization and structural topology optimization. Berlin: Springer, 1999, 279 p.
- [11] *Euihark L.* A strain-based topology optimization method. PhD Thesis, Graduate School-New Brunswick, New Jersey / Lee Euihark, 2011.
- [12] *Комаров В.А., Кишов Е.А.* Анализ и интерпретация результатов топологической оптимизации на основе экспорта распределения материала в CAD формат. Тезисы докладов 16-й Международной конференции "Авиация и космонавтика", 2017, С.387.
- [13] SIMP Method for Topology optimization. Dassault Systems, help.solidworks, 2022.
- [14] *Комаров В.А.* Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы. *Онтология проектирования*, Т.7, №2(24), 2017, С.191-206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [15] *Thomas M., Lambert O., Davoine C., Popoff F., Dupuy C., Peyre P., Dendievel R.* Characterization of multiperforated plates manufactured by SLM and EBM for aeroengine applications. In book: *TMS 2017 146th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings*, 2017, P.61–70. DOI:10.1007/978-3-319-51493-2_7.
- [16] *Brenne F., Taube A., Probstle M., Neumeier S., Schwarze D.* Microstructural design of Ni-base alloys for high-temperature applications: impact of heat treatment on microstructure and mechanical properties after selective laser melting. *Prog Addit Manuf*, 1(3–4), P.141–151. DOI:10.1007/s40964-016-0013-8

- [17] **Blakey-Milner B., Gradl P., Snedden G., Brooks M., Pitot J., Lopez E., Leary M., Berto F., duPlessis A.** Metal additive manufacturing in aerospace: A review. *Materials & Design*, Volume 209, 2021, P.3-10. DOI:10.1016/J.MATDES.2021.110008.
- [18] **Boyard N., Christmann O., Rivette M., Richir S.** A design methodology for additive manufacturing applied to fused deposition modeling process. *Mechanics & Industry*, 2019. 20(6). DOI:10.1051/meca/2019040.
- [19] **Квасов Б.И.** Методы изогометрической аппроксимации сплайнами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006, 360 с.
- [20] **Игнатов М.И., Певный А.Б.** Натуральные сплайны многих переменных. М.: Наука, 1991, 125 с.
- [21] **David F. Rogers.** An Introduction to NURBS: With Historical Perspective Paperback – August 6, 2011.
- [22] **Tang Y., Zhao Y.F.** A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. *Rapid Prototyping Journal*, 2016; 22 (3), P.569–590. DOI:10.1108/RPJ-01-2015-0011.
- [23] **Leary M., Merli L., Torti F., Mazur M., Brandt M.** Optimal topology for additive manufacture: A method for enabling additive manufacture of support-free optimal structures. *Materials & Design*, 63, 2014, P.678–690. DOI:10.1016/j.matdes.2014.06.015.
- [24] **Кишов Е.А.** Программа Торо2STL. Свидетельство о регистрации №2021680225 от 08.12.2021 г.
- [25] **Raffaeli R., Lettori J., Schmidt J., Peruzzini M., Pellicciari M.** A systematic approach for evaluating the adoption of additive manufacturing in the product design process. *Applied Sciences*. 11(3), 1210, 2021. P.9-17. DOI:10.3390/app11031210.

Сведения об авторах



Ткаченко Иван Сергеевич, 1985 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева в 2008 г., к.т.н. (2012). Директор института авиационной и ракетно-космической техники Самарского университета, доцент. В списке научных трудов более 100 работ в области космического машиностроения. Author ID (РИНЦ): 602393; Author ID (Scopus): 12645515700. tkachenko.is@ssau.ru.

Куркин Евгений Игоревич, 1986 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева в 2009 г., к.т.н. (2015). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета. В списке научных трудов более 160 работ в области компьютерного моделирования и производства изделий из композиционных материалов. ORCID: 0000-0002-0893-9878; Author ID (РИНЦ): 552800; Author ID (Scopus): 56335051100. kurkin.ei@ssau.ru. ✉



Лукьянов Олег Евгеньевич, 1992 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева в 2015 г., к.т.н. (2019). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета. В списке научных трудов более 40 работ в области проектирования авиационных конструкций. Author ID (Scopus): 57197737962. lukyanov.oe@ssau.ru.

Кишов Евгений Алексеевич, 1992 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева в 2014 г., к.т.н. (2019). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета. В списке научных трудов более 40 работ в области проектирования и оптимизации авиационных конструкций. ORCID: 0000-0002-6893-1894; Author ID (РИНЦ): 1050945; Author ID (Scopus): 57039050400. evgeniy.kishov@ssau.ru.



Галинсога-Самора Хесус, 1994 г. рождения. Окончил Аэронавтический университет в Керетаро в 2016 году (Мексика). Получил степень магистра в институте авиационной и ракетно-космической техники Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева в 2022 году. Имеет трёхлетний профессиональный опыт в области проектирования аэрокосмических систем в CAD/CAE. jesusgalinzoga@gmail.com.

Смелов Виталий Геннадиевич, 1979 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева в 2002 г., к.т.н. (2007). Директор института двигателей и энергетических установок Самарского университета, доцент. В списке научных трудов более 150 работ в области аддитивных технологий. ORCID: 0000-0001-9556-6290; Author ID (РИНЦ): 591009; Author ID (Scopus): 56472572300. smelov@ssau.ru.





Чертыковцева Владислава Олеговна, 1994 г. рождения. Окончила Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева в 2018 г. Аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета. В списке научных трудов более 10 работ в области компьютерного моделирования и механики жидкости. Author ID (Scopus): 57038797600. chertykovceva.vo@ssau.ru.

Поступила в редакцию 31.10.2022, после рецензирования 17.11.2022. Принята к публикации 25.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-532-546

Load-bearing structures design using topological optimization and additive manufacturing technologies

© 2022, I.S. Tkachenko, E.I. Kurkin ✉, O.E. Lukyanov, E.A. Kishov, J. Galinzoga-Zamora, V.G. Smelov, V.O. Chertykovtseva

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract

The aim of the work is to create an integrated technology for designing load-bearing structures using topological optimization and additive manufacturing, as well as its approbation on the example of a specific task of designing and manufacturing an aerospace structure. The proposed methodology describes the main design stages for additive manufacturing. In the ANSYS system, the power scheme of the structure is designed based on topological optimization. To refine the dimensions and shape of the structural strength elements, a module was used that allows optimizing the geometric model of the structure by shifting the nodes of the design grid of the structure. The results of the verification calculation showed that the designed structure has a significantly lower mass compared to the prototype and is not inferior to it in terms of rigidity, strength and minimum values of natural vibration frequencies. The article describes the implementation of the production process for creating a workpiece using selective laser melting technology. The development of a 3D model of the design sample was carried out in the Siemens NX software. For the considered design, the method of residual stress compensation based on the optimization of heat sinks on the technological construction platform and the method of preliminary correction of the workpiece geometry in the SimufactAdditive software were applied. The results obtained in the work show the possibility of introducing additive manufacturing together with topological optimization in the design of spacecraft, including the load-bearing structures of their propulsion systems.

Key words: design, load-bearing structure, topology optimization, morphing, strength calculation, selective laser melting.

For citation: Tkachenko IS, Kurkin EI, Lukyanov OE, Kishov EA, Galinzoga-Samora J, Smelov VG, Chertykovtseva VO. Load-bearing structures design using topological optimization and additive manufacturing technologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 532-546. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-532-546.

Financial Support: This work was sponsored by the Samara National Research University Development Program for 2021–2030 under the Priority 2030 Strategic Academic Leadership Program, № 30/22B dated 06/15/2022.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - General classification of structural optimization problems

Figure 2 - Design process including various types of optimization

- Figure 3 - Stages of creating parts using DfAM additive manufacturing
Figure 4 - General view of the structure (prototype)
Figure 5 - Applying loads and restraints to structural elements
Figure 6 - FEM computational grid of the design area of the first approximation
Figure 7 - Results of topology optimization of the second approximation
Figure 8 - The result of optimizing the shape and dimensions of cross sections after morphing: transparent blue - original geometry, solid orange - STL model after morphing
Figure 9 - Equivalent stresses according to Mises, MPa: a) the original model, b) designed model
Figure 10 - The result of deviations of the calculated model from the nominal
Figure 11 - The result of deviations of the corrected calculated model from the nominal 3D model of the load-bearing structure sample
Figure 12 - The result of 3D printing of a load-bearing structure
Figure 13 - The sample view after removing the support material

References

- [1] **Christensen PW, Klarbring A.** An introduction to structural optimization. Berlin: Springer, 2009, 214 p.
- [2] **Groth C, Chiappa A, Biancolini ME.** Shape optimization using structural adjoint and RBF mesh morphing. *Procedia Structural Integrity*, 2018; 8: 379–389. DOI:10.1016/j.prostr.2017.12.038.
- [3] **Bendsoe MP, Sigmund O.** Topology Optimization: Theory, Methods and Applications. New York: Springer, 2003, 271 p.
- [4] **Sigmund O, Maute K.** Topology optimization approaches. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Springer. 2013; 48(6): 1031-1055. DOI:10.1007/s00158-013-0978-6.
- [5] **Tang Y, Zhao YF.** A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. *Rapid Prototyping Journal*, 2016; 3: 571-573. DOI:10.1108/RPJ-01-2015-0011.
- [6] **Komarov AA.** Fundamentals of load-bearing structures design [In Russian]. Kuibyshev book publishing house, 1965. 88 p.
- [7] **Bendsoe MP, Kikuchi N.** Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Comp. Methods in Appl. Mech. and Engineering*. 1988; 71: 197-224.
- [8] **Komarov VA.** Concurrent Design [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2012, 3(5): 8-23.
- [9] **Komarov VA, Kishov EA, Kurkin EI, Charkviani RV.** Aircraft Composite Spoiler Fitting Design Using the Variable Density Model, *Procedia Computer Science*. 2015; 65: 99-106. DOI:10.1016/j.procs.2015.09.085.
- [10] **Hassani B, Hinton E.** Homogenization and structural topology optimization. Berlin: Springer, 1999, 279 p.
- [11] **Euihark L.** A strain-based topology optimization method. PhD Thesis, Graduate School-New Brunswick, New Jersey / Lee Euihark, 2011.
- [12] **Komarov VA, Kishov EA.** Analysis and interpretation of results after topology optimization using export of density iso-surface to CAD-geometry [In Russian]. *16th International Conference "Aviation and Cosmonautics"*, 2017, P.387.
- [13] SIMP Method for Topology optimization. Dassault Systems, help.solidworks, 2022.
- [14] **Komarov VA.** Theoretical basis for design of load-bearing structures produced using additive technologies [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017, 7(2): 191-206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [15] **Thomas M, Lambert O, Davoine C, Popoff F, Dupuy C, Peyre P, Dendievel R.** Characterization of multiperforated plates manufactured by SLM and EBM for aeroengine applications. *Miner Metals Mater Ser*, 2017, P.61–70. DOI:10.1007/978-3-319-51493-2_7.
- [16] **Brenne F, Taube A, Probstle M, Neumeier S, Schwarze D.** Microstructural design of Ni-base alloys for high-temperature applications: impact of heat treatment on microstructure and mechanical properties after selective laser melting. *Prog Addit Manuf*, 1(3–4), P.141–151. DOI:10.1007/s40964-016-0013-8.
- [17] **Blakey-Milner B, Gradl P, Snedden G, Brooks M, Pitot J, Lopez E, Leary M, Berto F, duPlessis A.** Metal additive manufacturing in aerospace: A review. *Materials & Design*, 2021; 209: 3-10. DOI:10.1016/J.MATDES.2021.110008.
- [18] **Boyard N, Christmann O, Rivette M, Richir S.** A design methodology for additive manufacturing applied to fused deposition modeling process. *Mechanics & Industry*, 20, 2019. DOI:10.1051/meca/2019040.
- [19] **Kvasov BI.** Methods of isogeometric approximation by splines [In Russian]. FIZMATLIT, 2006, 360 p.
- [20] **Ignatov MI, Pevnyi AB.** Natural splines of many variables. [In Russian]. Moscow: Nauka, 1991, 125 p.
- [21] **David F. Rogers.** An Introduction to NURBS: With Historical Perspective Paperback – August 6, 2011.
- [22] **Tang Y, Zhao YF.** A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance. *Rapid Prototyping Journal*, 22 (3), P. 569–590. DOI:10.1108/RPJ-01-2015-0011.

- [23] **Leary M, Merli L, Torti F, Mazur M, Brandt M.** Optimal topology for additive manufacture: A method for enabling additive manufacture of support-free optimal structures. *Materials & Design*, 63, 2014, P.678–690. DOI:10.1016/j.matdes.2014.06.015.
- [24] **Kishov EA.** Computer code Topo2STL [In Russian]. Certificate №2021680225 dated 12/08/2021.
- [25] **Raffaelli R, Lettori J, Schmidt J, Peruzzini M, Pellicciari M.** A systematic approach for evaluating the adoption of additive manufacturing in the product design process. *Applied Sciences*. 11(3), 1210, 2021. P.9-17. DOI:10.3390/app11031210.
-

About the authors

Ivan Sergeevich Tkachenko (b. 1985) graduated from the Samara Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 2008, Candidate degree in engineering (2012). Director of the Institute of Aerospace Engineering, Associate Professor. He is a co-author of about 100 scientific articles and abstracts in the field of aerospace engineering. Author ID (РИИЦ): 602393; Author ID (Scopus): 12645515700. tkachenko.is@ssau.ru.

Evgenii Igorevich Kurkin (b. 1986) graduated from the Samara Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 2009, Candidate degree in engineering (2015). Department of Aircraft Construction and Design, Associate Professor. He is a co-author of about 160 scientific articles and abstracts in the field of mathematical modeling and production of parts from composite materials. ORCID: 0000-0002-0893-9878; Author ID (РИИЦ): 552800; Author ID (Scopus): 56335051100. kurkin.ei@ssau.ru. ✉.

Oleg Evgenievich Lukyanov, (b. 1992) graduated from the Samara Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 2015, Candidate degree in engineering (2019). Department of Aircraft Construction and Design, Associate Professor. He is a co-author of about 40 scientific articles and abstracts in the field of design of aerospace structures. Author ID (Scopus): 57197737962. lukyanov.oe@ssau.ru.

Evgeniy Alekseevich Kishov, (b. 1992) graduated from the Samara Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 2014, Candidate degree in engineering (2019). Department of Aircraft Construction and Design, Associate Professor. He is a co-author of about 40 scientific articles and abstracts in the field of design and optimization of aerospace structures. ORCID: 0000-0002-6893-1894; Author ID (РИИЦ): 1050945; Author ID (Scopus): 57039050400. evgeniy.kishov@ssau.ru.

Jesus Galinzoga-Zamora, (b. 1994) graduated from the Aeronautical University in Queretaro in 2016 (Mexico). With a master's degree from the Samara University named after academician S.P. Korolev in 2022 at the Institute of Aerospace Engineering. He has three years of professional experience in CAD/CAE design of aerospace systems. jesusgalinzoga@gmail.com.

Vitaliy Gennadievich Smelov, (b. 1979) graduated from the Samara Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 2002, Candidate degree in engineering (2007). Director of the Institute of Engine and Power Plant Engineering, Associate Professor. He is a co-author of about 150 scientific articles and abstracts in the field of additive technologies. ORCID: 0000-0001-9556-6290; Author ID (РИИЦ): 591009; Author ID (Scopus): 56472572300. smelov@ssau.ru.

Vladislava Olegovna Chertykovtseva, (b. 1994) graduated from the Samara University in 2018. Department of Aircraft Construction and Design, a post-graduate student. She is a co-author of about 10 scientific articles and abstracts in the field of mathematical modeling and fluids mechanic. Author ID (Scopus): 57038797600. chertykovtseva.vo@ssau.ru.

Received October 31, 2022. Revised November 17, 2022. Accepted November 25, 2022.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561

**Усовершенствование ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для предприятий**

© 2022, В.В. Антонов, К.А. Конев ✉

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия***Аннотация**

Предлагается методика по развитию ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для организационных систем с учётом влияния фактора времени. В существующих методологиях недостаточно внимания уделяется связям между организационной частью модели и параметрическим методом, с помощью которого осуществляется выбор приемлемого решения, оценивание последствий принятых решений зачастую игнорируется, а применение данных методологий к решению практических задач затруднительно. Цель статьи - обобщение существующих подходов к принятию решений на основе усовершенствованной методологии разработки систем поддержки принятия решений, которая нацелена на устранение выявленных проблем. Для достижения цели применялись системный и ситуационный подходы, онтологический инжиниринг, структурный анализ систем, методы классификации сложных объектов. Сформированы предложения по совершенствованию ситуационного подхода к созданию систем поддержки принятия решений, включающие определение иерархии компонент процесса принятия решений, описание методов перехода между уровнями принятия решений, с акцентом на уровень выбора параметрического метода для трансформации множества вариантов в результативное решение. Сделан вывод, что предложенная методика позволит упростить процесс проектирования систем поддержки принятия решений для предприятий.

Ключевые слова: ситуационное управление, принятие решений, методология проектирования, системы поддержки принятия решений.

Цитирование: Антонов В.В., Конев К.А. Усовершенствование ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для предприятий // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.547-561. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2020-0007.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Вопросы цифровизации экономики на основе новых технологий в настоящее время являются чрезвычайно актуальными. При этом важным аспектом цифровизации является интеллектуализация принятия решений (ПР). Под интеллектуализацией здесь подразумевается создание интеллектуальных информационных систем в рамках систем поддержки ПР (СППР), которые, в свою очередь, определяются как комплексы программных, лингвистических и логико-математических средств для поддержки деятельности и поиска информации в режиме диалога на естественном языке [1]. В этой связи ставятся важные задачи по созданию

структуры интеллектуальной подсистемы, выбору методов сбора информации для неё, методов ПР на основе этой информации и оценки последствий принятых решений. Данные задачи решаются методами ПР: эвристическими, системными, ситуационными, экспертными и т.д. Однако существующие подходы и методологии ПР в большинстве либо абстрактны и не содержат чётких методик их практической реализации, либо, напротив, очень предметны и соответствуют узкому классу конкретных задач. Возникает потребность в такой постановке задачи ПР, при которой будет сформирована общая концепция, чтобы её можно было применять к широкому кругу научных и практических задач в конкретных предметных областях (ПрО). Проектирование интеллектуальных помощников или СППР относится к новым перспективным технологиям [2].

Цель статьи - анализ существующих подходов к принятию решений и обобщение их ключевых положений в рамках усовершенствованной методологии с точки зрения применения в СППР.

1 Анализ подходов и методов принятия решений

Применение множества существующих методов ПР в ПрО, связанной с производством, т.е. с динамическими процессами управления организационно-техническими объектами, ограничивается одним важным обстоятельством, состоящим в том, что возможность перехода от описания проблемы к её решению сводится к выбору из ограниченного списка альтернатив. Несмотря на многообразие методов ПР, они зачастую игнорируют важнейшие обстоятельства времени, места и т.д., которые могут изменить шкалу оценки принятых решений. Обстоятельства играют большую роль в принятии решения на практике, что привело к возникновению понятия ситуационного управления и связанного с ним научного направления.

В 1964 г. была предложена идея создания «единой теории управления», впоследствии названной ситуационной теорией управления [3]. Понятия «ситуационная модель» и «ситуационное управление» были введены Д.А. Пospelовым [4, 5]. Подходы к семиотическим основам информатики предложил советский лингвист В.В. Мартынов [6, 7].

Развивая понятие «ситуация» в рамках приложения ситуационного подхода к управлению сложными системами [8], Клыков Ю.И. предложил рассматривать последовательное преобразование ситуации как результат ПР, связанного с выбором управленческого воздействия. При этом задача ПР рассматривалась как классификация ситуаций, а функционирование сложной системы представлялось как процесс преобразования пространственно-временных отношений между элементами. По-другому предложили классифицировать ситуации Бергман и Заде, применив операции теоретико-множественного пересечения [9]. Применение теоретико-множественного пересечения к заданному множеству ситуаций даёт множество обобщённых ситуаций, которое сопоставляется с множеством решений.

Концептуально ситуационное управление можно выразить следующим образом [10].

В качестве текущей ситуации S_{cur} рассматривается система из текущего состояния объекта (вектор состояния V_s) и его внешней среды (вектор возмущений V_i), где $S_{cur} = \langle V_s, V_i \rangle$. Следовательно полная ситуация может быть выражена как: $S = \langle S_{cur}, G \rangle$, где G – некоторая цель управления, которая является той целевой ситуацией S_G , в которую за счёт управления переводится текущая ситуация S_{cur} . Значит S можно представить следующим образом: $S = \langle S_{cur}, S_G \rangle$. Учитывается, что $S_{cur} \in U_1$, где U_1 – некоторый класс определённого типа ситуаций, а $S_G \in U_2$, где U_2 – некоторый класс целевых ситуаций, которые стремится достигнуть лицо, принимающее решение (ЛПР). Для перевода текущей ситуации в целевую опре-

деляется множество управляющих действий (вектор управляющих действий $V_C \in \Omega$, где Ω – множество допустимых управленческих мероприятий), что можно описать выражением:

$$S_{cur} \in U_1 \xrightarrow{V_C \in \Omega} S_G \in U_2. \quad (1)$$

Ситуационное управление можно представить в виде отображения, которое сопоставляет пару «текущая ситуация – целевая ситуация» с требуемым результатом – набором управленческих мероприятий V_C и имеет вид:

$$(U_1, U_2) \rightarrow V_C \in \Omega. \quad (2)$$

В современных исследованиях интерес представляет структурирование ситуаций. Например, в исследовании критических ситуаций [11] принято понятие ситуации на двух уровнях: на макроуровне, где ситуация – элемент, часть всех возможных ситуаций; на микроуровне, где ситуация описывается автономно на основе её внутренней структуры. Развиваются также подходы к функционально-структурному описанию предприятий, которые рассматриваются как совокупность ресурсов и функций и описываются комплексами различных моделей.

Появление мощных и удобных в применении инструментов для построения онтологических моделей (например, *OWL* [12]) и интеллектуальных методов ПР позволило объединить достижения науки в области ситуационного управления, онтологического и структурного проектирования, системного анализа и современных методов ПР. Появилась возможность разработки онтологий предприятия [13]. Для сложных организационно-технических систем потребовалось создать многоуровневые ситуационные модели [14], многоуровневую онтологическую модель предприятия на основе представления его в виде совокупности различных ресурсов [15], а также включить учёт реального времени [16]. Слияние ситуационного, онтологического и структурного подходов осуществлено в ситуационно-онтологической методологии моделирования бизнес-процессов (БП), которая названа «метаситуационной» [17].

Развитие ситуационного подхода к поддержке ПР происходило путём совершенствования понимания термина «ситуации» и вовлечением в этот подход элементов системного, структурного и онтологического подходов (см. рисунок 1). В существующих методологиях мало внимания уделяется связям между организационной частью модели организационной системы и параметрическим методом, с помощью которого для каждой точки ПР осуществляется выбор приемлемого решения. Кроме того, оценивание последствий принятых решений зачастую игнорируется. Многообразие подходов в этой области затрудняет доведение их до инженерного уровня, что ставит вопрос о постановке в общем виде задачи поддержки ПР.



Рисунок 1 – Развитие научных представлений о модели управления предприятием

2 Общая постановка задачи поддержки принятия решений

Задача поддержки ПР может быть представлена как иерархия включённых элементов (см. рисунок 2).

Бизнес-процесс включает некоторое количество точек ПР, т.е. таких функций, в результате выполнения которых он ветвится на некоторые сценарии, способные изменить конечный результат процесса, т.е. БП соотносится с точкой ПР как общее и частное, выстраивая отношение обобщения от точки ПР к БП. В каждой точке ПР может быть некоторое количество ситуаций, вызванных различными обстоятельствами, причём ситуации друг от друга отличаются по составу возможных вариантов решений.

Ситуация – это множество возможных вариантов решений для точки ПР. В каждой ситуации может быть от нуля до нескольких корректных вариантов решений. Любой корректный вариант решения реализует один или несколько сценариев реализации решения. Реализация сценария вызывает последствия, которые можно оценить разными способами.

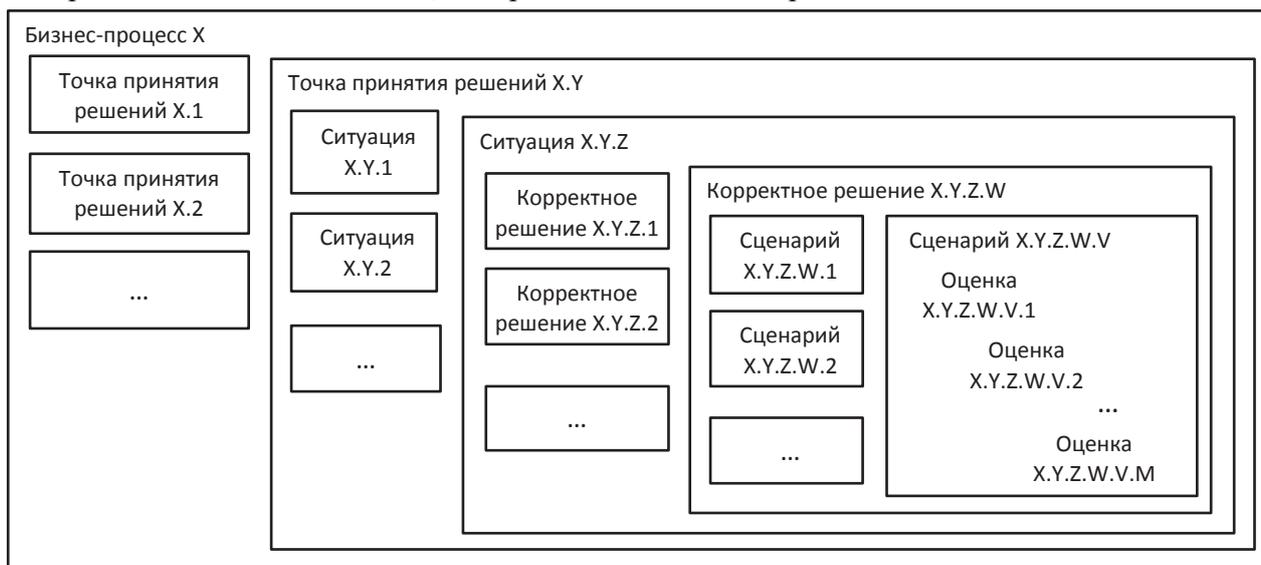


Рисунок 2 – Иерархия включённых элементов, используемых в процессе принятия решения

Такая иерархия очевидна, но не полностью раскрывает феномен ПР. Переход на каждый новый уровень иерархии требует реализации некоторых условий. Это функциональное пространство, поскольку любые операции с его объектами – объекты этого же множества. Переход от общего к частному в каждом конкретном случае требует реализации конкретного метода. Параллельно функциональному пространству возникает методологическое пространство, в котором формируется множество правил, по которым от общего можно перейти к частному в конкретной задаче ПР.

2.1 Переход от БП к существующим в нём точкам ПР

Переход осуществляется визуализацией БП и составлением его концептуальной модели при помощи методологий *SADT*, *UML*, *EPC*, *BPMN* или подобных. В модели определяются функции, в результате выполнения которых БП ветвится на альтернативные потоки управления, а их реализация может привести к различным результатам процесса. В любом случае каждая такая функция будет точкой ПР. Если ветвление процесса предусмотрено его регламентом и не влияет на результаты, то такая функция не является точкой ПР.

Пусть для организации *O* существует множество БП $BP = \{bp_1, \dots, bp_S\}$. Тогда существует некоторое множество *P* таких функций всех БП, в которых осуществляется выбор, определяющий состояния значимых для БП элементов, т.е. точек ПР: причём $P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_n\}$, где p_i – отдельная точка ПР, а *n* – их общее количество.

Между BP и P можно построить отношение, в котором каждому bp_i будет поставлено в соответствие, обозначающее множество точек ПР в i -том БП, подмножество $P^i \subset P$, где $P^i = \{p_1^i, \dots, p_{n_i}^i\}$, где n_i – число точек ПР в i -том БП. Отбор точек ПР в БП осуществляется по критериям: ветвление модели процесса после точки ПР; влияние на конечные результаты при выборе одной из веток в процессе ПР. На других уровнях ПР критериев может быть больше, поэтому их можно представить как вектор критериев $V^i = \{v_1, \dots, v_{m_i}\}$, где m_i – число критериев в i -том БП. Элементы множества V^i могут принимать значения «да» или «нет», что можно представить как 0 и 1. Тогда переход от множества BP к множеству P в рамках конкретной задачи, т.е. решение задачи определения среди функций БП bp_i некоторого множества точек ПР P^i на основе признаков V^i можно будет записать в виде декартова произведения множеств:

$$P^i = P \times V^i. \quad (3)$$

Если по одному из параметров V^i любое значение P не совпадёт (нет ветвления или нет влияния на конечный результат процесса), то данная функция не будет точкой ПР, а если совпадёт, то при умножении на 1 останется такой точкой.

Для БП организации будет сформировано пространство, где каждому i -тому процессу из множества BP будет соответствовать множество точек ПР. По мере перехода по уровням модели будут формироваться её новые измерения (см. рисунок 3).

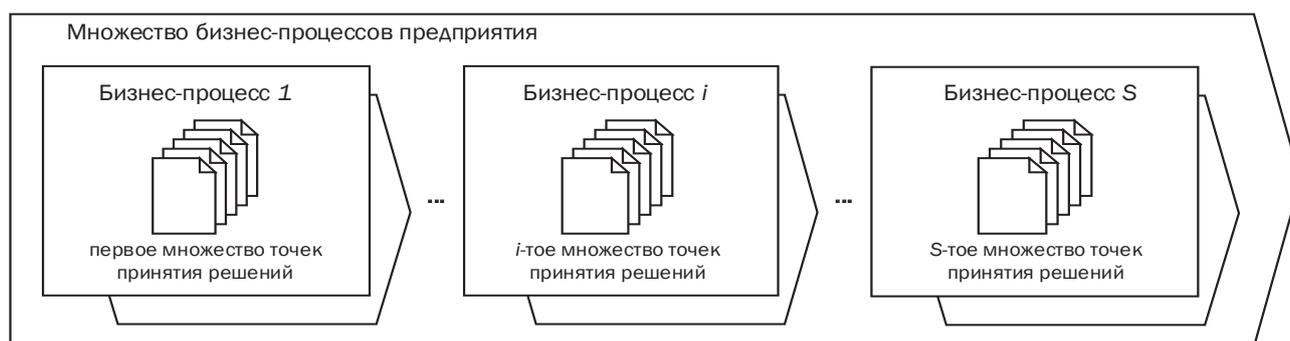


Рисунок 3 – Увеличение числа измерений при переходе к новому уровню рассмотрения системы

2.2 Переход от уровня точки ПР к уровню множества возможных вариантов

Для реализации перехода от уровня точки ПР к уровню множества возможных вариантов решения следует определить ситуацию ПР. Для одной и той же точки ПР разные (обладающие разными значениями измеряемых признаков) ситуации будут иметь разные множества вариантов принимаемых решений.

Например, если необходимо выбрать меры мотивации работника, которому нужно сдать отчёт в среду, то для ситуации сдачи отчёта во вторник множество вариантов решения будет поощрение от 0 до N , а для ситуации сдачи отчёта в четверг такое множество будет включать наказание от 0 до M .

Множество вариантов решений нельзя определить без учёта признаков ситуации, таких как, например, время, контекст, важность, затраты и т.д. Эти признаки должны учитываться на момент времени t , когда принимается решение. Выбор известного множества вариантов решения в зависимости от ранее установленной комбинации признаков является идентификацией типовой ситуацией, а типовая ситуация определяется как ситуация с известными признаками для которой сформировано множество вариантов решения [18].

Схема учёта ситуационного фактора на примере фактора времени показана на рисунке 4.

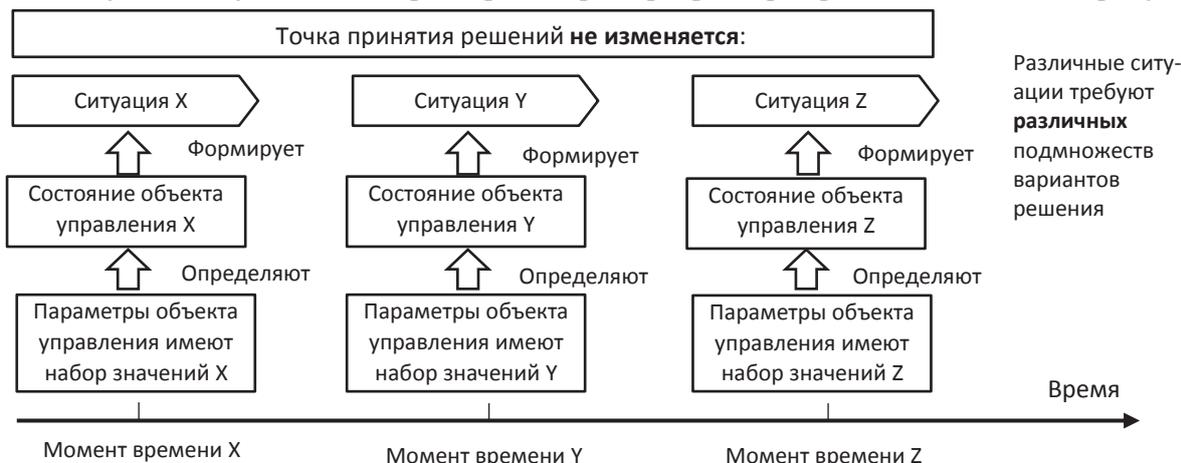


Рисунок 4 – Схема учёта фактора времени при принятии решений

Продолжая выше определённую логику, можно заключить, что для каждой j -той точки ПР $p_j^i \in P^i$, являющейся, по сути, одной из функций bp_i можно поставить в соответствие множество ситуаций $S^{ij} = \{s_1^{ij}, \dots, s_{n_{ij}}^{ij}\}$, где n_{ij} – общее число ситуаций в j -той точке ПР в i -том БП. Множество вариантов решений определяется не только структурой функций БП, но и ситуацией, т.е. сложившимися в данный момент времени на объекте управления конкретными обстоятельствами, которые могут приводить к разным корректным решениям в одной и той же точке ПР в разное время. Подобным образом одна и та же функция в разных условиях (ситуациях) требует разных вариантов для выбора при ПР.

Важной особенностью типовых ситуаций является тот факт, что параметры их состояния можно определить и описать заранее, т.е. зафиксировать в виде множеств вариантов решений, сопоставив им, по аналогии с предыдущим уровнем, некоторое множество признаков или вектор идентификации $V^{ij} = \{v_1^i, \dots, v_{m_{ij}}^i\}$, где m_{ij} – число признаков, которые будут определять ситуацию в j -той точке ПР в i -том БП.

На усложнение по отношению к идентификации точек ПР указывает тот фактор, что признаки ситуации перестают быть логическими, поскольку включают характеристику времени. Это усложнение можно преодолеть если преобразовать их так, чтобы они стали логическими.

Если продолжить все подобные действия, то выражение (1) можно будет применить и для идентификации типовых ситуаций, т.е. выбора множества вариантов решения, подходящего для сложившихся условий в точке ПР p_j^i :

$$S^{ij} = P^i \times V^{ij}. \quad (4)$$

2.3 Переход от ситуации к множеству корректных решений

Наиболее сложным этапом является переход от ситуации, представляющей собой множество возможных решений в некоторых обстоятельствах, к множеству корректных решений. Сложность этапа является следствием многообразия методов ПР и значительного влияния на выбор методов особенностей конкретного БП.

Множество возможных корректных решений в ситуации S^{ij} может иметь вид $D^{ijk} = \{d_1^{ijk}, \dots, d_{n_{ijk}}^{ijk}\}$, где n_{ijk} – общее число корректных решений в k -той ситуации в j -той

точке ПР в i -том БП. Тогда должен существовать некоторый вектор V^{ijk} , позволяющий идентифицировать подмножество корректных решений. Способы отбора нужного решения многообразны, опираются на значительный объём факторов и преобразование вектора V^{ijk} в набор логических компонент представляет собой отдельную задачу. Воспользоваться преобразованием выражения (2) можно, но полученный результат не имеет практического значения. В этой связи предлагается ввести новое ограничение в виде множества методов решения $M = \{m_1, \dots, m_{ijk}\}$, где m_{ijk} – число методов для k -той ситуаций в i -той точке ПР в i -том БП, т.е. переход от множества ситуаций к подмножеству корректных решений будет зависеть от метода ПР.

Таким образом, выражение для конкретной ситуации $s_k^{ij} \in S^{ij}$ есть множество вариантов решений, определяемых на основании метамоделей, заложенной в $m_{ijk} \in M$. Отношение между множествами может быть представлено следующим выражением:

$$D^{ijk} = S^{ij} \times M. \quad (5)$$

На данном уровне модели ПР важным аспектом становится выбор метода обработки информации, т.е. метод выбора подмножества корректных решений из множества всех вариантов, которые доступны в заданной ситуации. Схема процесса ПР с выбором метода ПР из вариантов показана на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема процесса принятия решений

2.4 Множество сценариев реализации выбранного варианта решения

Сценарии реализации решения представляют собой важную часть процесса ПР. Одно и то же решение можно реализовать по-разному, т.е. сценарии реализации решения формируют множество. Для каждого k -го корректного решения может существовать множество сценариев его реализации $C^{ijk} = \{c_1^{ijk}, \dots, c_{n_{ijk}}^{ijk}\}$, где n_{ijk} – общее число сценариев решений для i -ого корректного решения в k -ой ситуации, j -ой точки ПР, i -ого БП.

Выбор сценария решения возможен по вектору признаков. Зачастую такой вектор связан с экономическими показателями, но могут быть показатели безопасности, репутации и др. Вектор планирования $V^{ijk} = \{v_1^{ijk}, \dots, v_{m_{ijk}}^{ijk}\}$, где m_{ijk} – число признаков, по которым будет выбран сценарий реализации g -го корректного решения в k -ой ситуации, i -ой точки ПР, i -ого БП.

$$C^{ijk} = D^{ijk} \times V^{ijk}. \quad (6)$$

2.5 Переход от сценария реализации ПР к оценкам его результативности

Для осуществления перехода от сценария реализации принятого решения к оценкам его результативности требуется сформировать методику выбора оценки с учётом комплекса особенностей БП и сценариев.

Пусть множество оценок $E^{ijkgh} = \{e_1^{ijkgh}, \dots, e_{n_{ijkgh}}^{ijkgh}\}$, где n_{ijkgh} – число оценок для h -ого сценария реализации g -того корректного решения в k -ой ситуации, j -ой точки ПР, i -ого БП. Многообразие оценок ME может быть учтено выбором метода оценивания $ME = \{me_1, \dots, me_{m_{ijkgh}}\}$, где m_{ijkgh} – число методов оценки для h -ого сценария реализации g -ого корректного решения в k -ой ситуации, j -ой точки ПР, i -го БП. Вектор полезности оценки UV включает $UV = \{0, 1\}$, как совокупную характеристику осуществимости, целесообразности и возможности получить корректный результат. Декартово произведение с UV позволит отбросить ситуации, которые не требуют оценки последствий принятого решения. В таком случае выражение для оценки последствий принятого решения примет вид:

$$E^{ijkl} = UV \times (C^{ijk} \times ME). \quad (7)$$

Вектор UV в общем виде может представлять собой более сложное множество, т.е. включать промежуточные значения между 0 и 1, в таком случае для определения вектора полезности понадобится функция принадлежности.

Связь множеств объектов, участвующих в процессе ПР, показана на рисунке 6.

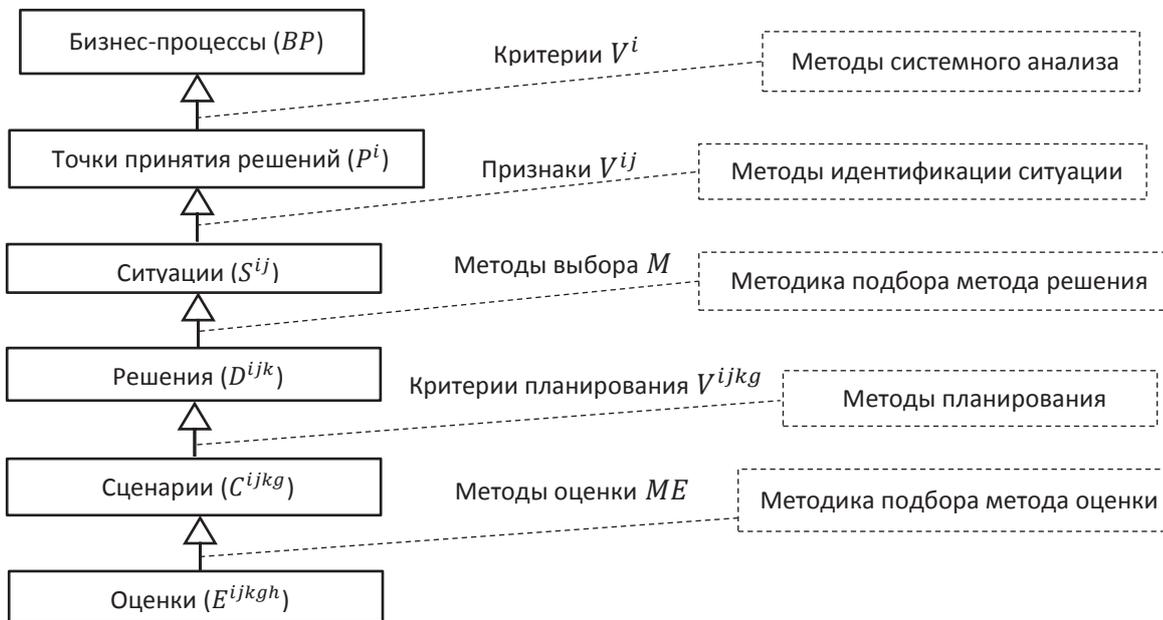


Рисунок 6 – Связь объектов в процессе принятия решения

Предложенная схема постановки задачи ПР включает решения новой задачи определения метода выбора варианта ПР. Для решения задачи можно предложить шкалу методов (от эвристических до точных измерительных) и методику определения точки на данной шкале для конкретной типовой ситуации с известными параметрами в контексте конкретного БП.

3 Формирование шкалы классов методов принятия решений

С целью определения относительно общей меры для выбора методов ПР можно ввести понятие результативности ПР, как вероятности получения корректного решения, снимающего проблему в данной конкретной ситуации на объекте управления без однозначно связанных с этим решением негативных последствий на заданный отрезок времени. Под результативностью понимается степень пригодности выбранного метода для ПР.

Основные классификационные группы методов ПР и их характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики классов методов ПР

Методы ПР	Характеристики			
	Вероятность ошибки при решении	Применимость	Сложность применения	Сложность интерпретации
1 Эвристические методы	Самая высокая	Самая высокая	Самая низкая	Низкая
2 Экспертные методы	Высокая	Высокая	Низкая	Средняя
3 Методы экспертизы на основе нечёткой логики	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя
4 Квалиметрические методы	Средняя	Средняя	Средняя	Высокая
5 Аналитические методы	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
6 Простые интеллектуальные методы ПР на основе прецедентов	Средняя	Низкая	Высокая	Средняя
7 Сложные интеллектуальные методы ПР на основе машинного обучения	Самая низкая	Самая низкая	Самая высокая	Высокая

1. Наименее формализованными и наиболее распространёнными методами ПР являются *неформальные (эвристические) методы ПР* [19]. Вероятность успешного исхода в таком случае практически не прогнозируема. Тем не менее, для простейших ситуаций с низкой ценой неправильного выбора, такой способ ПР может быть оправдан.

2. Методы, основанные на анализе формализованного опыта, который подвергается статистической обработке – *экспертные методы ПР* [20]. Данные методы позволяют внести некоторые правила обработки входных данных, поэтому их результативность обычно выше. Привлечение экспертов расширяет круг участников, повышает затраты на ПР и снижает оперативность. Эксперты могут быть заинтересованы и предвзяты, что также не всегда можно исключить при реализации ПР.

3. Для снижения влияния субъективности экспертных методов и повышения уровня предсказуемости результатов принимаемых решений используются *методы экспертизы на основе нечёткой логики* [21, 22]. В данных методах решение определяется из расчёта функций принадлежности, которая обеспечивает некоторый интервал, внутри которого находится вариант решения. Такой подход снижает субъективность и даёт инструменты нечёткой логики, которыми можно влиять на вероятность правильного выбора. Недостатком является возрастающая сложность такого подхода и возможные ограничения по корректному представлению входных данных для ПР.

4. Более точные результаты ПР дают *квалиметрические методы ПР* [23]. Такие методы позволяют точно рассчитать попадание оценочной характеристики в некоторый диапазон и по этому факту судить о том, что нужно выбрать. Часто квалиметрические методы дают искажённую оценку по причине неполного учёта всех важных факторов.

5. Сложными и точными, но трудно применимыми являются *аналитические методы ПР* [24, 25]. Данные методы основываются на точных формулах.

6. *Простые интеллектуальные методы ПР на основе прецедентов* [26] в отличие от прочих позволяют накапливать информацию о ситуации и совершенствовать процесс ПР за счёт уточнения критериев и методов ПР. Простыми данные методы названы по причине относительной простоты уточнения метамоделей процесса. В основу положена прецедентная

модель пополнения базы знаний, которая позволяет учитывать проблемы, возникавшие на предшествующих итерациях.

7. Одними из самых эффективных являются *сложные интеллектуальные методы ПР на основе машинного обучения* [27, 28] и на основе глубокого обучения или нейронных сетей [29]. Данный класс методов применим к ограниченному классу задач в силу высоких требований к объёму и точности как входных данных, так и алгоритму выбора (распознавания) вариантов в процессе ПР. Машинное обучение позволяет эффективно работать с подготовленными, формализованными данными.

Приведённая классификация является ранговой шкалой, в которой измеряемой характеристикой является результативность ПР. При этом сложность использования метода возрастает по той же шкале. Схематичная зависимость числа ошибок при ПР, трудоёмкости этого процесса и вероятности решить задачу от типа метода показана на рисунке 7. Из рисунка видно, что более простые методы дают больше ошибок, но менее трудоёмки. Вероятность того, что задача не разрешима конкретным методом также растёт для более сложных методов. С ростом сложности методов снижается доля задач, которые можно корректно поставить в форме, пригодной для решения выбранным методом.

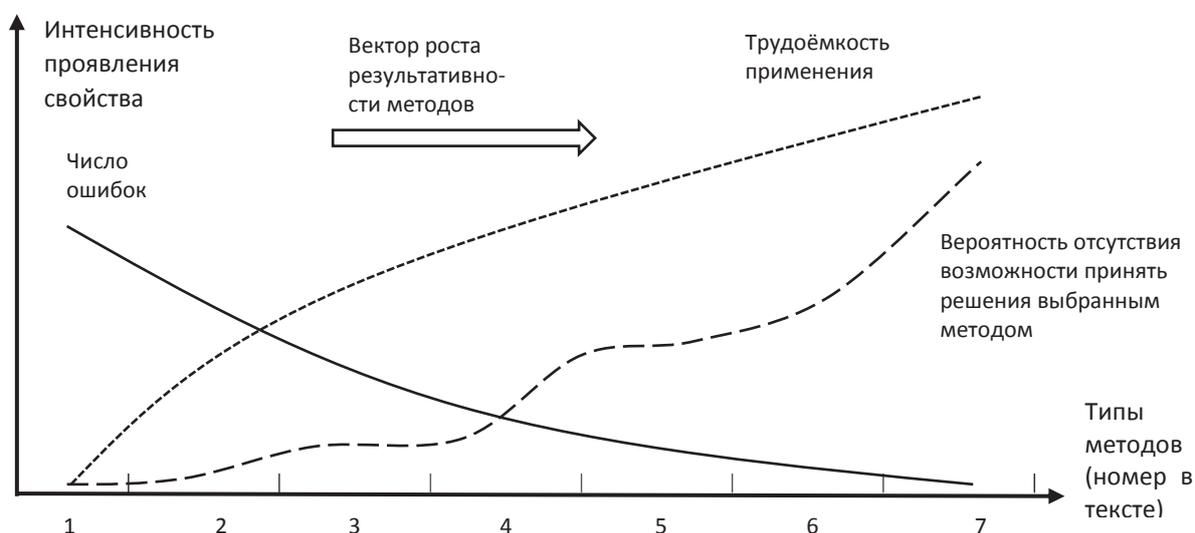


Рисунок 7 – Схема зависимости результативности принятия решений от типа метода

4 Методика подбора класса метода решения

Схема алгоритма методики для определения по входным данным исследуемой ситуации для определения класса методов, который наиболее подходит для конкретной точки ПР, показана на рисунке 8.

Методика подбора класса метода решения зависит от трёх основных условий: допустимой доли ошибок при ПР, доступности ресурсов для использования более сложных методов и принципиальной возможности поставить рассматриваемую задачу так, чтобы решить методом выбранного типа. Можно сформировать измеримые показатели, по анализу расчётов которых можно будет выбрать тот или иной класс методов ПР для реальной системы. К числу таких показателей можно, например, отнести:

- важность последствий ПР, т.е. вероятность получения неприемлемого ущерба в результате принятия некорректного решения;

- точность ПР, т.е. оценка ширины интервала возможных вариантов, которые могут считаться корректными для решаемой задачи;
- оперативность ПР, т.е. степень зависимости корректности принимаемого решения от времени, которое требуется на его принятие;
- сложность ПР, т.е. многообразие и разнородность всех факторов сложившейся на объекте управления ситуации, затрудняющих для эксперта ПР;
- осуществимость ПР, т.е. степень сложности практической реализации ПР.

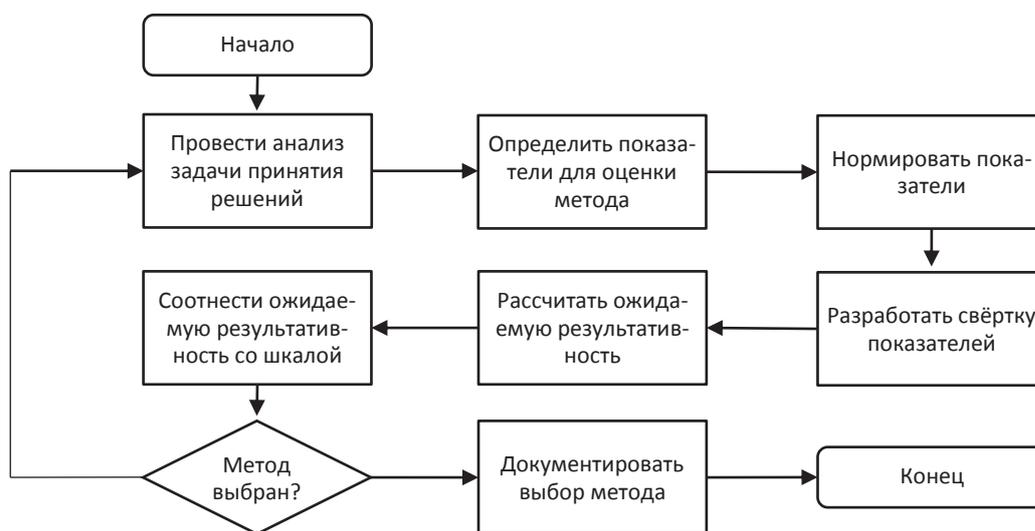


Рисунок 8 – Схема алгоритма определения класса методов для принятия решения

Возможны и другие показатели, определяемые в конкретной ПрО, для конкретной задачи. Каждый показатель даёт определённый вклад в суммарную оценку. Поскольку методы ПР ранжируются по возрастанию результативности (снижению числа ошибок), то и выбранные показатели также можно соотносить с их влиянием на неё:

- показатели прямо влияют на результативность, т.е. чем выше значение показателей, тем выше результативность;
- показатели, напротив, зависят от результативности ПР обратным образом, т.е. чем выше значение показателей, тем меньше шансов получить результативное решение;

Следовательно, в любой ПрО будет два множества показателей: прямо влияющие на результативность и обратно влияющие. При этом каждый показатель будет иметь свою силу влияния, которую можно усреднённо свести в несколько категорий с соответствующими весами. Таким образом, систему оценки можно представить как отношение нескольких множеств: множества прямо влияющих на результативность показателей PP , множество обратно влияющих на результативность решений показателей NP , множество весов показателей W . Выражение для оценки ожидаемой результативности R будет некоторой свёрткой данных показателей:

$$R = f(W, PP, NP), \quad (8)$$

где f – функция связывающая множества показателей.

Для корректной свёртки параметров показатели всех множеств должны быть нормированы и приведены к общей размерности. Поскольку во введённой шкале категории приведены в порядке возрастания показателя R , то достаточно определить интервалы, на которых будут рекомендованы классы различных методов ПР и соотносить полученную оценку с такой шкалой, чтобы получить рекомендацию по выбору класса методов.

Заключение

Развитие методов ПР идёт от простых эвристических методов к сложным интеллектуальным. Совершенствование средств для решения задач классификации, кластеризации и прогнозирования ведёт к использованию более результативных методов ПР, генерирующих меньшее число ошибок. Часто для получения приемлемых результатов вполне достаточно более простых методов, поэтому обеспечение возможности выбора типа метода для конкретной задачи ПР, как компромисса между числом ошибок и сложностью его применения, представляется актуальной задачей.

В статье предложено развитие ситуационной методологии создания СППР и создание новой методики, особенностью которой является представление процесса ПР в виде иерархической структуры, между уровнями которой определены методы перехода. Для решения задачи перехода от множества вариантов решения ЛПР к выбранному варианту сформированная расширенная классификация методов ПР. Предложена методика выбора одного из классов методов ПР, наиболее подходящего в рассматриваемой точке ПР. Это может позволить упростить процесс проектирования СППР, поскольку предлагает простые и наглядные методы формирования иерархии множеств компонентов.

Список источников

- [1] **Трофимова Л.А., Трофимов В.В.** Управление знаниями. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ. 2012. 77 с.
- [2] **Стельмах С.** Gartner: пять новых тенденций развития технологий. *itWeek*. 17 сентября 2019. №6 (949). <https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=208851>.
- [3] **Mockler R.J.** Situational Theory of Management. *Harvard Business Review*. 1971. Vol.49, №3. P.146.
- [4] **Поспелов Д.А., Пушкин В.Н.** Мышление и автоматы. М.: Сов. радио, 1972. 22 с.
- [5] **Поспелов Д.А.** Принципы ситуационного управления. Известия АН СССР. *Техническая кибернетика*. 1971. №2. С.10-17.
- [6] **Мартынов В.В.** Семиологические основы информатики. АН БССР. Ин-т языкознания им. Якуба Коласа. Минск: Наука и техника, 1974. 192 с.
- [7] **Массель Л.В., Массель А.Г.** Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике. Труды IV Международной конференции OSTIS, Беларусь, Минск: БГУИР. 20-22 февраля 2014. С.111-116.
- [8] **Клыкков Ю.И.** Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974. 136 с.
- [9] **Беллман Р., Заде Л.** Вопросы принятия решений в расплывчатых условиях. *Вопросы анализа и процедуры принятия решений*. М.: Мир, 1976. 46 с.
- [10] **Балашов О.В., Лосева В.А.** Генерация управляющих решений в системах поддержки принятия решений с помощью механизмов ситуационного управления. *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*. 2018. Т.3. №2(8). С.17-25.
- [11] **Юсупова Н.И.** Критические ситуации и принятие решений при управлении в условиях помех. Уфа: Гилем, 1997. 112 с.
- [12] OWL Web Ontology Language. Overview. W3C Recommendation: W3C, 27 October 2009, <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
- [13] **Шведин Б.Я.** Онтология предприятия: экспериентологический подход: технология построения онтологической модели предприятия. М.: URSS, 2010. 234 с.
- [14] **Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Еникеева К.Р.** Иерархические ситуационные модели для СППР в сложных системах. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 4. С.63
- [15] **Конев К.А.** Концептуальная модель автоматизации предприятия авиационного приборостроения на основе актуализируемой многослойной таксономии. *Вестник УГАТУ*. 2013. Т.17. №5. С.70-77.
- [16] **Скобелев П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени. *Онтология проектирования*. 2012. №1(3). С.6-38.
- [17] **Конев К.А., Шакирова Г.Р.** Применение метаситуационного моделирования для описания социально-экономических процессов в сфере образования. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2014. № 3(91). С.163-171.
- [18] **Антонов В.В., Конев К.А.** Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №1(39). С.126-136. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.

- [19] Кулюткин Ю.Н. Эвристические методы в структуре решений. – М.: Педагогика, 1970. – 232 с.
- [20] Козлова К.А., Герасимец О.И. Экспертные методы принятия решений: основные методы экспертных оценок. *Вестник магистратуры*. 2018. №2-1(77). С.25-26.
- [21] Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука", 1990. 272 с.
- [22] Larsen P.M. Industrial Applications of Fuzzy Logic Control. *Int. J. Man Machine Stud.*, 1980, v.12, No.1, P.3–10.
- [23] Протасьев В.Б., Косаревская А.В. Оценка качества управленческих решений с использованием методов квалиметрии. // *Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Материалы Междунар. научно-техн. конф. «АПИР-14»*. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. С.193-196.
- [24] Рейльян Я.Р. Аналитическая основа принятия управленческих решений. М.: Финансы и статистика, 1989. 205 с.
- [25] Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. М.: ЛКИ, 2008. 360 с.
- [26] Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. №1. С.45-57.
- [27] Шумский С.А. Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта. М.: РИОР, 2019. DOI: 10.29039/02011-1. <https://naukaru.ru/upload/21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3/files/4aa3e882e70144f867ed116d42342630.pdf>.
- [28] Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2015. 399 с.
- [29] Aggarwal C. *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. 497 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-94463-0>.

Сведения об авторах



Антонов Вячеслав Викторович, 1956 г. рождения. Окончил Башкирский государственный университет (1979), к.т.н. (2007), д.т.н. (2015). Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ), профессор кафедры управления в органах внутренних дел Уфимского юридического института МВД России. В списке научных трудов более 130 работ в области построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 530537. Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AАН-5121-2019. antonov.v@bashkortostan.ru.



Конев Константин Анатольевич, 1977 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ) (2000), к.т.н. (2004). Доцент кафедры автоматизированных систем управления УУНиТ. В списке научных трудов около 30 работ в области систем поддержки принятия решений. AuthorID (РИНЦ): 544899. sireo@rambler.ru. ✉

Поступила в редакцию 10.10.2022, после рецензирования 15.11.2022. Принята к публикации 30.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561

Improving the situational methodology for developing decision support systems for enterprises

© 2022, V.V. Antonov, K.A. Konev ✉

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Abstract

The article proposes a technique for the development of a situational methodology for the development of decision support systems for organizational systems, taking into account the influence of the time factor. In the existing methodolo-

gies, insufficient attention is paid to the links between the organizational part of the model and the parametric method, with the help of which the choice of an acceptable solution is made, the assessment of the consequences of the decisions made is often ignored, and the application of these methodologies to solving practical problems is difficult. The main purpose of the article is to summarize the existing approaches to decision making based on an improved methodology for developing decision support systems, which is aimed at eliminating the identified problems. To achieve the goal, systemic and situational approaches, ontological engineering, structural analysis of systems, and methods for classifying complex objects were used. As a result, proposals were formed to improve the situational approach to creating decision support systems, including the definition of a hierarchy of decision-making process components, descriptions of transition methods between decision-making levels, with an emphasis on the level of choice of a parametric method for transforming a set of decision options into effective solution. The article concludes that the proposed methodology will simplify the process of designing decision support systems for enterprises.

Key words: *situational management, decision making, methodology for designing a decision support system.*

Citation: Antonov VV, Konev KA. Improving the situational methodology for developing decision support systems for enterprises [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 547-561. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561.

Financial Support: The research is carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the main part of the state assignment to higher educational institutions No. FEUE-2020-0007.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and table

Figure 1 – Development of scientific ideas about the enterprise management model

Figure 2 – Hierarchy of included elements used in the decision process

Figure 3 – Increase in the number of measurements when moving to a new level of consideration of the system

Figure 4 – The time factor scheme when making decisions

Figure 5 – Diagram of the decision-making process

Figure 6 – Communication of objects in the process of decision making

Figure 7 – Dependence scheme of the effectiveness of decision-making on the method type

Figure 8 – Algorithm for determining the class of methods for decision making

Table 1 – Characteristics of Decision Method Classes

References

- [1] **Trofimova, LA, Trofimov VV.** Knowledge management [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University of Economics. 2012. 77p.
- [2] **Stelmakh S.** Gartner: five new trends in technology development. *itWeek*. 2019; 6(949). <https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=208851>.
- [3] **Mockler RJ.** Situational Theory of Management. *Harvard Business Review*. 1971; 49(3): 146.
- [4] **Pospelov DA, Pushkin VN.** Thinking and automata [In Russian]. Moscow: Sov. radio, 1972. 22 p.
- [5] **Pospelov DA.** Principles of situational management [In Russian]. *Izv. RAS USSR. Technical cybernetics*. 1971; 2: 10-17.
- [6] **Martynov VV.** Semiological foundations of informatics [In Russian]. Academy of Sciences of the BSSR. Institute of Linguistics im. Yakub Kolas. Minsk: Science and technology, 1974. 192 p.
- [7] **Massel LV, Massel AG.** Situational management and semantic modeling in the energy sector [In Russian]. Proceedings of the IV International Conference OSTIS, Belarus, Minsk. BSUIR. 2014. Belarus. February 20-22, 2014. P.111-116.
- [8] **Klykov YuI.** Situational control of large systems [In Russian]. Moscow. Energy, 1974. 136 p.
- [9] **Bellman R, Zade L.** Decision-making issues in vague conditions. Questions of analysis and decision-making procedures. Moscow. Mir, 1976. 46 p.
- [10] **Balashov OV, Loseva VA.** Generation of Control Decisions in Decision Support Systems Using Situational Control Mechanisms [In Russian]. *International Journal of Information Technologies and Energy Efficiency*. 2018; 3(2): 17-25.
- [11] **Yusupova NI.** Critical situations and decision-making in control under interference conditions [In Russian]. Ufa. Gilem, 1997. 112 p.

- [12] OWL Web Ontology Language Overview. W3C Recommendation: W3C, 27 October 2009, <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
- [13] **Shvedin BYa.** Ontology of the enterprise: an experimental approach: a technology for constructing an ontological model of an enterprise [In Russian]. Moscow. URSS, 2010. 234 p.
- [14] **Yusupova NI, Smetanina ON, Enikeeva KR.** Hierarchical situational models for DSS in complex systems [In Russian]. *Modern problems of science and education*. 2013. No. 4. P.63
- [15] **Konev KA.** Conceptual model of automation of an aviation instrumentation enterprise based on an updated multi-layer taxonomy [In Russian]. *Vestnik UGATU*. 2013; 17(5): 70-77.
- [16] **Skobelev PO.** Ontologies of activity for situational management of enterprises in real time [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 1(3): 6-38.
- [17] **Konev KA, Shakirova GR.** Application of meta-situational modeling to describe socio-economic processes in the field of education [In Russian]. *Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics*. 2014; 3(91): 163-171.
- [18] **Antonov VV, Konev KA.** Intelligent decision support method in a typical situation [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 126-136. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.
- [19] **Kulyutkin YuN.** Heuristic methods in the decision structure [In Russian]. Moscow. Pedagogy, 1970. 232 p.
- [20] **Kozlova KA, Gerasimets OI.** Expert decision-making methods: basic methods of expert assessments [In Russian]. *Bulletin of the Magistracy*. 2018; 2-1(77): 25-26.
- [21] **Melikhov AN, Bernshtein LS, Korovin SYa.** Situational advising systems with fuzzy logic: monograph [In Russian]. Moscow. "Nauka", 1990. 272 p.
- [22] **Larsen PM.** Industrial Applications of Fuzzy Logic Control. *Int. J. Man Machine Stud.*, 1980; 12(1): 3–10.
- [23] **Protasiev VB, Kosarevskaya AV.** Assessment of the quality of management decisions using qualimetry methods [In Russian]. *Bulletin of TulGU. Automation: problems, ideas, solutions: Proceedings of the Intern. scientific and technical conf. "APIR-14"*. Tula: Publishing house of TulGU, 2009. P.193-196.
- [24] **Reylyan YaR.** Analytical basis for making managerial decisions [In Russian]. Moscow. Finance and statistics, 1989. 205 p.
- [25] **Saaty TL.** Decision making under dependencies and feedbacks. *Analytical networks*. Moscow. LKI, 2008. 360 p.
- [26] **Varshavsky PR, Ereemeev AP.** Case Based Reasoning Modeling in Intelligent Decision Support Systems. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2009; 1: 45-57.
- [27] **Shumsky SA.** Machine intelligence. Essays on the theory of machine learning and artificial intelligence [In Russian]. Moscow. RIOR, 2019. DOI: 10.29039/02011-1. <https://naukaru.ru/upload/21232f297a57a5a743894a0e4a801fc3/files/4aa3e882e70144f867ed116d42342630.pdf>.
- [28] **Flach P.** Machine learning. The science and art of building algorithms that extract knowledge from data [In Russian]. Trans. from English. Moscow. DMK Press, 2015. 399 p.
- [29] **Aggarwal C.** Neural Networks and Deep Learning: A Textbook. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. 497 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-94463-0>.

About the authors

Vyacheslav Viktorovich Antonov (b. 1956) graduated from Bashkir State University (1979), Ph.D. (2007), D.Sc. (2015). Head of the Department of Automated Control Systems of the Ufa University of Science and Technology (UUST), Professor of the Department of Management in Internal Affairs of the Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. The list of scientific works includes more than 130 works in the field of building intelligent systems. AuthorID (РИИЦ): 530537. Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AAH-5121-2019. antonov.v@bashkortostan.ru.

Konstantin Anatolyevich Konev (b. 1977) graduated from Ufa State Aviation Technical University (USATU) (2000), Ph.D. (2004). Associate Professor of the Department of Automated Control Systems, UUST. The list of scientific works includes about 30 works in the field of decision support systems. AuthorID (РИИЦ): 544899. sir-eo@rambler.ru. ☒

Received October 10, 2022. Revised November 15, 2022. Accepted November 28, 2022.

Краткие итоги 2022 года

Начало уходящего 2022 года было относительно радужным и не только для журнала. Завершался Ковид-19, а конец 2021 года, объявленный Годом науки и технологии в России, принёс много приятных событий¹: журнал «Онтология проектирования» был приглашён и принял участие в церемонии вручения VII Всероссийской премии «За верность науке» в Государственном Кремлевском Дворце; издательство «Новая техника» отметило своё 30-летие; ученики школы проф. В.Г. Маслова отметили 95-летие своего учителя; выпускник Самарского университета был удостоен Нобелевской премии; во многом благодаря нашему журналу самарские специалисты вошли в Топ-10 российских онтологов.

Экспо-2020 в Дубае



Год для журнала начался с посещения в январе международной выставки Экспо-2020, которая проходила в Дубае с 1 октября 2021 по 31 март 2022 года. Всемирные выставки уже на протяжении 170 лет предоставляют платформу для демонстрации самых передовых инноваций. Экспо-2020 в Дубае продолжила эту традицию с помощью новейших технологий со всего мира. Уникальная архитектура, культура и вдохновляющие инновации, представленные 192 странами, производили неизгладимое впечатление.

В павильоне России главной темой был искусственный интеллект (ИИ), над технологиями которого



также активно работают и в Самарском университете. Посетивший эту выставку выпускающий редактор журнала «Онтология проектирования» Николай Боргест отметил, что основными технологическими доминантами Экспо-2020 были именно ИИ и космос. В современном понимании ИИ трактуется как рациональные, разумные, гармоничные с природой технологии. В павильоне США экспонировались марсоход, ракетноситель *SpaceX* и была предоставлена возможность посетителям прикоснуться к лунному камню, что и сделал наш представитель.

80 лет Самарскому университету и кафедре КиПЛА



В октябре 2022 года титульный учредитель журнала Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва и профильная кафедра конструкции и проектирования летательных аппаратов (КиПЛА) отметили своё 80-летие. Самарский университет² - гала концертом в Самарском академическом театре оперы и балета, кафедра КиПЛА – скромным банкетом, одним из спонсоров которого выступил журнал.

Семинар по онтологиям и проектированию

В ковидный 2021 год, когда основным режимом коммуникации стал ОНЛАЙН, возможность обсуждения научных проблем и технических решений с привлечением специалистов с разных уголков страны и мира значительно расширилась. 2022 год продолжил эти нарабатанные традиции, совмещая оба режима.



¹ От редакции. Красная кнопка профессора Маслова. *Онтология проектирования*. №4, том 11, 2021. С.397-401. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2021_4\(42\)/Ontology_Of_Designing_4_2021_397_401_Editorial.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2021_4(42)/Ontology_Of_Designing_4_2021_397_401_Editorial.pdf).

² Самарскому университету им. Королёва исполнилось 80 лет. <https://ssau.ru/news/20778-samarskomu-universitetu-im-koroleva-ispolnilos-80-let>.

Авторы статей журнала в 2022 году

Номер	1	2	3	4
Кол-во статей	9	10	11	10
Кол-во авторов	23	24	24	26
Кол-во организаций	11	15	18	12
Кол-во авторов мужчин/женщин	14/9	17/7	15/9	21/5
Города авторов статей	Брянск Владивосток Иркутск Краснодар Москва Омск Оренбург Ульяновск Уфа	Апатиты Владивосток Инчон (Корея) Иркутск Оренбург Орехово-Зуево Самара Санкт-Петербург Томск Уфа	Владивосток Иркутск Лондон (Англия) Москва Оренбург Самара Санкт-Петербург Уфа	Москва Омск Самара Санкт-Петербург Тюмень Уфа

2022 год не стал исключением в традиционно широкой географии авторов статей в нашем журнале. За год в четырёх номерах журнала опубликовано 40 научных статей, в том числе четыре редакционные. Наибольшую активность проявили авторы из Владивостока, Москвы, Оренбурга, Самары, Санкт-Петербурга и Уфы.

В таблице представлены данные о количестве авторов опубликованных статей, количестве организаций, которые представляют авторы, городах, где расположены эти организации, а также гендерное

соотношение авторов журнала в 2022 году. Большая часть опубликованных работ (~60%) выполнена авторами, представляющими одну организацию, но есть и работы, в которых коллаборация достигает 3-5 организаций. Двойная аффилиация авторов составляет 25 % статей.

ПИАШ в Самарском университете

Логотип «Передовые инженерные школы» (ПИШ) теперь красуется на обложке нашего журнала благодаря созданию в Самарском университете Передовой инженерной аэрокосмической школы (ПИАШ) «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники». ПИАШ, являющаяся структурным подразделением Самарского университета, создана 1 сентября 2022 года в рамках федерального проекта Минобрнауки России «ПИШ» с целью решения задачи по подготовке инженеров новой формации, владеющих наукоёмкими и мультидисциплинарными технологиями³.



**Передовые
инженерные
школы**

Аэрокосмические артефакты и технологии их создания с начала прошлого века были в авангарде разработок методов, средств, теорий и в целом науки о проектировании. Именно в этих предметных областях зарождались первые автоматизированные системы проектирования, которые впоследствии «научили формализовывать» не только рутинные операции, но и сложные творческие задачи, стали полноценными интеллектуальными помощниками проектантов⁴.

70 лет – «грустный праздник»

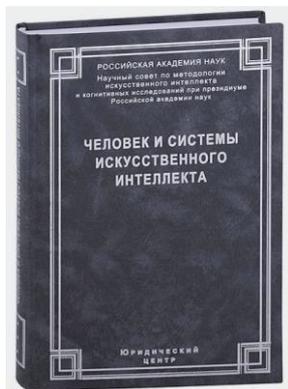
Именно так считает наш юбиляр, наш друг и коллега, д.т.н. С.В. Смирнов, в своё время первым поддержавший создание нашего журнала. 28 ноября коллеги искренне поздравили заместителя директора по науке ИПУСС РАН, заместителя главного редактора журнала. В своём поздравлении коллеги отметили ум, доброту, порядочность, поразительную работоспособность и стремление обосновывать и аргументировать любой свой шаг. Коллеги подчеркнули, что испытывают истинное удовольствие от общения с носителем Интеллекта Естественного! Редакция присоединяется к поздравлениям и желает крепкого здоровья, добра и мира!



³ Передовая инженерная аэрокосмическая школа. <https://ssau.ru/info/dev/pias>.

⁴ Боргест Н.М. Робот-проектант: на пути к реальности / Н.М. Боргест, С.А. Власов, Ал.А. Громов, Ан.А. Громов, М.Д. Корвин, Д.В. Шустова // *Онтология проектирования*. 2015. Т.5, №4(18). С.429-449. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2015_4%2818%29/6_Borgest.pdf.

Рекомендуемые издания 2022 года



Человек и системы искусственного интеллекта / Под ред. акад. РАН В.А. Лекторского. СПб.: Изд-во «Юридический центр», 2022. 328 с.

В книге обсуждаются новые возможности и проблемы, порождённые ускоряющимся использованием систем искусственного интеллекта во всех областях жизнедеятельности человека. Обосновывается идея о необходимости разработки таких систем искусственного интеллекта, которые не враждебны, а доброжелательны в отношении человека, которые будут не его хозяевами, а его помощниками.

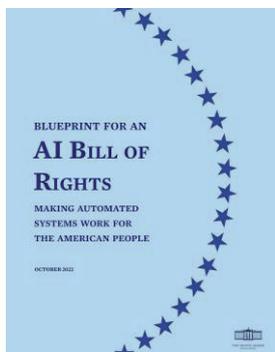
Авторы книги — известные учёные, специалисты в области философии, математики, нейронауки, психологии, права, лингвистики, экономики.

Книга предназначена для широкого круга читателей: как исследователей, так и практиков. Она также может быть использована в учебном процессе.

Содержание

- Искусственный интеллект в изучении человека, человек в мире, создаваемом искусственным интеллектом (акад. РАН Лекторский В.А.)
- Искусственный интеллект и общество (акад. РАН Васильев С.Н.)
- Как современные цифровые технологии меняют представление об окружающем мире (искусственное общество) (акад. РАН Макаров В.Л.)
- Право, искусственный интеллект, цифровизация (акад. РАН Хабриева Т.Я.)
- Вопросы применения технологий и систем искусственного интеллекта в военной сфере (акад. РАН Кокошин А.А.)
- Вызовы искусственного интеллекта для психологии (акад. РАН Ушаков Д.В., канд. психол. наук Валуева Е.А.)
- Сознание, мозг, общий искусственный интеллект: новые стратегические задачи и перспективы (докт. филос. наук, проф. Дубровский Д.И.)
- Естественный и искусственный интеллект: смыслы или структуры? (член-корр. РАО Черниговская Т.В.)
- Расширенная личность как основной субъект и предмет философского анализа. Следствия для образования (акад. РАН Семёнов А.Л., канд. пед. наук Зискин К.Е.)
- О стандартизации понятий и терминов, связанных с искусственным интеллектом (докт. юрид. наук, проф. Любимов А.П.)
- Аргумент Лукаса–Пенроуза–Гёделя и парадоксы искусственного интеллекта (докт. филос. наук, проф. Целищев В.В.)
- 70 лет тесту Тьюринга: может ли компьютер всё? (докт. филос. наук, проф. Алексеев А.Ю.)

Приложение. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года
Список использованной литературы



Blueprint for an AI Bill of Rights: Making Automated Systems Work for the American People. White House. Washington. OSTP. October 2022. 73 p.

This framework was released one year after OSTP (Office of Science and Technology Policy) announced the launch of a process to develop “a bill of rights for an AI-powered world.” Its release follows a year of public engagement to inform this initiative. <https://www.whitehouse.gov/ostp/ai-bill-of-rights>.

This white paper recognizes that national security and defense activities are of increased sensitivity and interest to our nation’s adversaries and are often subject to special requirements, such as those governing classified information and other protected data. Such activities require alternative, compatible safeguards through existing policies that govern automated systems and AI, such as the Department of Defense (DOD) AI Ethical Principles and Responsible AI Implementation Pathway and the Intelligence Community (IC) AI Ethics Principles and Framework. The implementation of these policies to national security and defense activities can be informed by the Blueprint for an AI Bill of Rights where feasible.

The Blueprint for an AI Bill of Rights is a set of five principles and associated practices to help guide the design, use, and deployment of automated systems to protect the rights of the American public in the age of artificial intelligence. Developed through extensive consultation with the American public, these principles are a blueprint for building and deploying automated systems that are aligned with democratic values and protect civil rights, civil liberties, and privacy. The Blueprint for an AI Bill of Rights includes Foreword, the five principles, notes on Applying The Blueprint for an AI Bill of Rights, and a Technical Companion that gives concrete steps that can be taken by many kinds of organizations—from governments at all levels to companies of all sizes—to uphold these values. Experts from across the private sector, governments, and international consortia have published principles and frameworks to guide the responsible use of automated systems; this framework provides a national values statement and toolkit that is sector-agnostic to inform building these protections into policy, practice, or the technological design process. Where existing law or policy—such as sector-specific privacy laws and oversight requirements—do not already provide guidance, the Blueprint for an AI Bill of Rights should be used to inform policy decisions.

Table of Contents

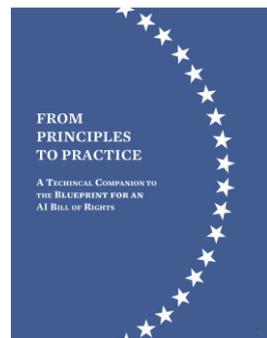
From Principles to Practice: a Technical Companion to the Blueprint for an AI Bill of Rights

- Using this Technical Companion
- Safe and Effective Systems
- Algorithmic Discrimination Protections
- Data Privacy
- Notice and Explanation
- Human Alternatives, Consideration, and Fallback

Appendix

- Examples of Automated Systems
- Listening to The American People

Endnotes



СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Онтология Армагеддона: поиск выхода 425-429

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

И.А. Суров (*Санкт-Петербург*) 430-453
Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования

А.М. Фаянс (*Москва*) 454-469
Построение онтологии фундаментальных понятий
на основе трансдисциплинарного подхода

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.В. Соловов, А.А. Меньшикова (*Самара*) 470-480
Трансформация онтологии образования:
от классно-урочной системы к смарт-инновациям

П.В. Балакшин, Е.А. Машина (*Санкт-Петербург*) 481-494
Формализация неявных знаний на основе образовательных компетенций
и фоновых знаний

В.А. Филимонов (*Омск*) 495-505
Проект краткого курса «Избранные вопросы инженерии»

А.Ю. Плешкова (*Санкт-Петербург*) 506-517
Онтологии в управлении образовательным процессом

**И.Н. Глухих, Т.Г. Шевелев, Р.А. Панов, А.М. Изотов,
М.О. Писарев, Д.А. Лисс, В.С. Быков,
А.В. Абрамов, К.З. Нониева** (*Тюмень, Санкт-Петербург*) 518-531
Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа
на основе онтологических моделей

**И.С. Ткаченко, Е.И. Куркин, О.Е. Лукьянов, Е.А. Кишов,
Х. Галинсога-Самора, В.Г. Смелов, В.О. Чертыковцева** (*Самара*) 532-546
Проектирование силовых конструкций с использованием
топологической оптимизации и технологии аддитивного производства

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.В. Антонов, К.А. Конев (*Уфа*) 547-561
Усовершенствование ситуационной методологии разработки
систем поддержки принятия решений для предприятий

Краткие итоги 2022 года 562-563

Рекомендованные издания 2022 564