

Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)

ISSN 2313-1039 (E)

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Russian
Science
Citation
Index

Vol **11**
N **1**
2021

Scientific journal

Volume 11

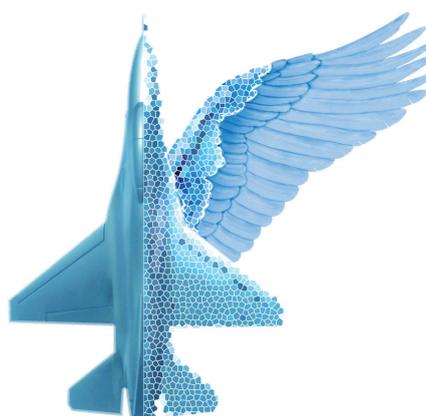
№ 1

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 11

№ 1



Editorial Board - Редакционная коллегия

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

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

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

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Бесконечность... В ожидании «чёрных лебедей» 5-7

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В.А. Сойфер 8-19
Human fActor

С.В. Микони 20-34
Понятность онтологической модели как характеристика её качества

Н.М. Боргест 35-50
Социально-экономический эффект онтологического анализа
при создании информационных систем

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.А. Черепашков, А.Г. Шараухова 51-63
Онтологическая база для обучения персонала САПР

С.С. Акимов, И.П. Болодурина 64-75
Построение СППР на основе онтологии молочного производства

Г.Б. Евгеньев 76-88
Синергетические базы знаний

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

К.И. Костенко, В.Ю. Белкин 89-103
Онтология пользовательских интерфейсов в кибернетической модели интеллектуальных систем

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.В. Полтавский, С.С. Семенов 104-116
Подход к оценке сложных технических систем на ранней стадии разработки

Ю.И. Нечаев 117-125
Онтологический синтез моделей нестационарной динамики бортовых интеллектуальных систем

В.В. Антонов, К.А. Конев 126-136
Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации

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

Контакты учредителей

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

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 30.03.2021. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

- The Infinity... Waiting for the «black swans» 5-7

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

- V.A. Soifer** 8-19
Human fActor
- S.V. Mikoni** 20-34
Comprehensibility of an ontological model as a characteristic of its quality
- N.M. Borgest** 35-50
Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

- A.A. Cherepashkov, A.G. Sharaukhova** 51-63
The ontological basis for teaching CAD staff
- S.S. Akimov, I.P. Bolodurina** 64-75
DSS construction based on the ontology of dairy production
- G.B. Evgenev** 76-88
Synergetic knowledge bases

ONTOLOGY ENGINEERING

- K.I. Kostenko, V.Yu. Belkin** 89-103
User interfaces ontology in the cybernetic model of intelligent systems

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

- A.V. Poltavsky, S.S. Semenov** 104-116
An approach to assessing complex technical systems at an early stage of development
- Yu.I. Nechaev** 117-125
Ontological synthesis of non-stationary dynamics models of on-board intelligence systems
- V.V. Antonov, K.A. Konev** 126-136
Intelligent decision support method in a typical situation

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

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

Contacts of the Founders

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

Бесконечность... В ожидании «чёрных лебедей»¹ The Infinity... Waiting for the "black swans"

«В мире две вещи бесконечны:
Вселенная и человеческая глупость»
Альберт Эйнштейн

«Наука сомневается, меняется, не имеет уверенности в окончательном знании
... не достойно верить в якобы совершенный набор догм,
которые никогда не меняются»
Айзек Азимов

«Бог везде и во всем, поскольку
Он безграничен и бесконечен»
Фома Аквинский

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

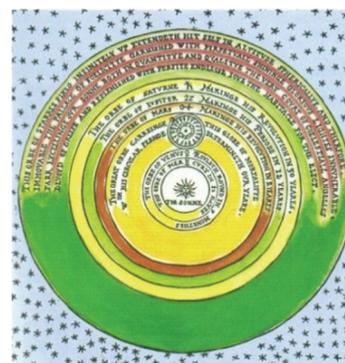
Сегодня в нашем бурно меняющемся мире хотелось бы поднять тему бесконечности: *безграничности* пространства, нас окружающего, *бесчисленности* объектов и предметов, его наполняющих, *бесконечности* моделей, теорий, мыслей и идей, возникающих и исчезающих, *бесконечности* изменений всего и вся и связанной с ними *бесконечности* времени, в котором всё это происходит. Бесконечность в конечном сознании авторов этих текстов нарушает принцип Козьмы Пруткова о невозможности объять необъятное, но внутренний необъяснимый мотив онтологов волей-неволей в пределе ставит вопрос и о границах, и конечности, о невозможной радости осознания многообразия мира. В этом бесконечном многообразии наше сознание всегда работает на опережение, на желание видеть, предсказать будущее и даже проектировать его под себя. Усложнение мира происходит лишь от накопления знаний о нём. Сократовское «я ничего не знаю» - это результат большого труда, это попытка осознать бесконечность знаний о мире. Философская онтология – это тот недостижимый предел для проективных онтологов, формирующих сущностные модели бытия в предметных областях на основе информационных технологий. Но как бы ни были успешны и эффективны эти модели в сложном мире, нас всегда ожидают «чёрные лебеди»¹, как знаки бесконечности сущностей, их атрибутов и отношений.

Одна из первых концепций бесконечности возникла около 600 г. до н.э., когда греческий философ Анаксимандр использовал слово *apeiron*, означающее «бесконечное» или «беспредельное». Примерно в то же время китайцы, используя слова, означающие «безграничный» и «бесконечный», считали, что бесконечность очень близка к небытию. В китайской мысли бытие и небытие, как *инь* и *янь*, находятся в гармонии друг с другом - отсюда родство бесконечности и небытия. Позднее Аристотель утверждал, что бесконечности не существует, хотя и признал то, что назвал «потенциальной бесконечностью». Представление Анаксимандра о бесконечности было абстрактным и не связано с физическим пространством. Греческие философы изображали космос как ограниченный по размеру, с внешней границей².

¹ «Чёрный лебедь» — теория, рассматривающая труднопрогнозируемые и редкие события, которые имеют значительные последствия. Автор теории — Нассим Николас Талеб, который в своей книге «Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости» (2007 г.) использовал термин «события типа „чёрный лебедь“».

² Alan Lightman. 'It Seems That I Know How the Universe Originated'. February 8, 2021. https://amp-theatlantic.com.cdn.ampproject.org/c/s/amp.theatlantic.com/amp/article/617965/?utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=2741704_Agenda_weekly-12February2021&utm_term=&emailType=Newsletter.

Возможно первым, кто постулировал бесконечную Вселенную, был математик и астроном Томас Диггес. В 1576 году Диггес опубликовал новое издание альманаха своего покойного отца «*A Prognostication Everlasting*» (Вечное предсказание), в приложении к которому Диггес упразднил внешнюю сферу звёзд, разбросав звёзды в бесконечном пространстве (рисунок справа)³. Диггес был согласен с Коперником и Аристотелем в одном: космос находится в состоянии покоя, существовал и будет существовать вечно. Эта концепция сохранялась ещё 300 лет. Даже космологическая модель Альберта Эйнштейна 1917 года, основанная на его теории гравитации, предполагала статичную и вечную Вселенную.



В 1922 году российский физик Александр Фридман создал первую нестационарную модель Вселенной. Позднее американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил, что скорость, с которой другие галактики улетают от нас, пропорциональна расстоянию между ними, как если бы все галактики были нарисованы точками на расширяющемся воздушном шаре.

Физик-теоретик Андрей Линде, выпускник МГУ, профессор Стэнфордского университета, предполагает, что наша Вселенная является лишь одной из огромного числа вселенных, каждая из которых постоянно и случайным образом порождает новые вселенные в бесконечной цепи космического творения, простирающейся в будущее.



Вавилонская карта мира - статичная картина (рисунок слева)⁴. Напротив, карта вселенных Линде предполагает эволюцию и изменение, движение, когда различные вселенные порождают друг друга во времени. Наше солнце сгорит, наша вселенная может превратиться в темную и безжизненную пустоту через миллиарды лет - но, согласно Линде, постоянно рождаются другие вселенные, некоторые, несомненно, с жизнью⁵.

Возвращая свой поток сознания из бесконечности в земную жизнь, в её непредсказуемость в большом и в малом, вновь обратимся к теории⁶ труднопрогнозируемых и редких событий, имеющих значительные последствия. К ним можно отнести: создание и развал СССР и многих империй и государств, экономические кризисы, банкротство крупнейших компаний, современную пандемию и многое другое. Автор соответствующей теории Нассим Талеб предложил критерии, по которым можно выделить эти события: событие является неожиданным (для эксперта); событие имеет значительные последствия; событие имеет рационалистическое объяснение, как если бы событие было ожидаемым, но лишь после его наступления, в ретроспективе.

Продолжая тему предыдущего обращения⁷, следует обратить внимание на независимые расчёты учёных из Австралии (G.D. Snooks), России (А.Д. Панов) и США (R. Kurzweil), которые показали, что сокращающиеся периоды между глобальными фазовыми переходами в истории биосферы и антропосферы образуют геометрическую прогрессию. Экстраполируя гиперболическую кривую в будущее, все три автора пришли к выводу: около середины XXI века ветвь гиперболы превращается в вертикаль. Этот результат, обозначенный в литературе как Вертикаль Снукса-Панова, должен означать, что скорость эволюционных изменений

³ Строение Вселенной по Томасу Диггесу. https://ru.wikipedia.org/wiki/Диггес,_Томас#/media/Файл:ThomasDiggesmap.JPG.

⁴ Вавилонская карта мира — глиняная табличка из Месопотамии, где изображена карта известного вавилонянам мира, содержащая реальные географические объекты и мифологические элементы. Cartographia. NY: Library of Congress, 2007. P.10.

⁵ Многоликая Вселенная Андрей Дмитриевич Линде. <https://scorcher.ru/art/theory/cosmologia/cosmologia4.php>.

⁶ «The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable», The New York Times, by Nassim Nicholas Taleb, April 22, 2007.

⁷ От редакции. Искусственного много – интеллекта мало. *Онтология проектирования*. №4(38), 2020. – с.413-414.

устремляется к *бесконечности*. В соответствии с данной теорией в середине XXI века человечество ожидает переход в новую фазу. Обсуждаются гипотезы причин такого перехода⁸:

- *технологическая сингулярность* — гипотетический момент, по прошествии которого технический прогресс станет быстрым и сложным (создание искусственного интеллекта и самовоспроизводящихся машин, интеграция человека с вычислительными машинами, значительное увеличение возможностей человеческого мозга);
- *глобальный военный конфликт*, который либо уничтожит человечество, либо отбросит его в доисторические времена;
- *сочетание технологического прогресса и войны*, обобщая их в единое понятие—«знания массового поражения» (*Knowledge-enabled Mass Destruction*).

Нассим Талеб, выступая на Нобелевском симпозиуме, опроверг теорию о спаде насилия в мире, математически обосновав страшный вывод о большой войне⁸...

Всемирный экономический форум, в лице его Президента, заявляет: «Мы сейчас на перепутье. Один путь приведёт нас к лучшему миру: более инклюзивному, более справедливому и более уважительному к матери-природе. Другой перенесёт нас в мир, похожий на тот, который мы только что оставили, но ещё хуже, и его постоянно преследуют неприятные сюрпризы. Поэтому мы должны сделать правильный выбор. Надвигающиеся вызовы могут иметь более серьёзные последствия, чем мы до сих пор представляли, но наша способность к перезагрузке также может быть больше, чем мы ранее осмеливались надеяться⁹»...

Наши прошлые обращения к цифровой экономике¹⁰ и Индустрии¹¹ ещё более оптимистичны, как, впрочем, и опубликованные в журнале статьи на темы этих обращений, например¹².

Этот номер, как и предыдущие, богат своей географией авторов статей (Краснодар, Москва, Оренбург, Самара, Санкт-Петербург, Уфа) и предметными областями, в которых авторы реализуют онтологический подход к исследуемым темам. Тема человеческого фактора в эпоху Индустрии 4.0 раскрыта в статье академика В.А. Сойфера, всплеск интереса рецензентов вызвала статья профессора С.В. Микони о понятности онтологической модели (в апреле планируется провести семинар по этой проблеме), онтологический синтез моделей нестационарной динамики интеллектуальных систем рассмотрен в статье профессора Ю.И. Нечаева, на синергетические базы знаний «замахнулся» профессор Г.Б. Евгеньев. Онтологическая база для обучения персонала, онтология молочного производства, онтология пользовательских интерфейсов, оценка беспилотных летательных аппаратов, поддержка принятия решений в типовых ситуациях, социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем – вот перечень тем этого номера.

Хочется верить в разумные для человечества решения и сценарии его развития.

Dum spiro, spero!

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

⁸ Нассим Талеб: Большой войны не миновать. <https://psifactor.info/ed/nasim-taleb-bolshoj-vojny-ne-minovat.htm>.

⁹ Klaus Schwab, Thierry Malleret. COVID-19: The Great Reset. Forum Publishing. Edition 1.0. World Economic Forum. 2020. 213 p. https://straight2point.info/wp-content/uploads/2020/08/COVID-19_-The-Great-Reset-Klaus-Schwab.pdf.

¹⁰ От редакции. Модный тренд: цифровая экономика. *Онтология проектирования*. №2(28), 2018. – С.173-174.

¹¹ От редакции. Выход за границы Индустрии. *Онтология проектирования*. №1(31), 2019. – С.5-6.

¹² Похабов, Ю.П. Проектирование сложных изделий с малой вероятностью отказов в условиях Индустрии 4.0 / Ю.П. Похабов // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №1(31). – С.24-35. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-24-35.

Евгеньев, Г.Б. Индустрия 5.0 как интеграция Интернета знаний и Интернета вещей / Г.Б. Евгеньев // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №1(31). – С.7-23. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.896

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19

Human fActor

В.А. Сойфер

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

Аннотация

Мы живём в эпоху 4-й промышленной революции, и возникает закономерный вопрос – а что дальше? Кому будет принадлежать ведущая роль в новом цифровом мире – искусственному интеллекту или человеку? Для поиска ответов необходимо совершить небольшой экскурс в историю. Развитие технологий всегда меняло уклад жизни общества: усмирив энергию воды и пара, человечество сделало шаг из общества охотников в аграрное общество. Появление электрической энергии и конвейера позволили нам трансформироваться в индустриальное общество. Электронные информационные технологии привели нас на современный этап развития – к информационному обществу. Каков следующий шаг? Если Индустрия 4.0 посвящена автоматизации физико-технических процессов, то новый уклад Общество 5.0 в первую очередь ориентирован на автоматизацию процессов коммуникации и сотрудничества людей и интеллектуальных систем. Искусственный интеллект, повсеместное внедрение «цифры» должны помочь в достижении главного результата – увеличения продолжительности жизни, повышения её качества и появления людей-«акторов», создающих объекты интеллектуальной собственности, которые затем материализуются киберфизическими системами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, промышленная революция, актор, человеческий фактор, суперинтеллектуальное общество, киберфизические системы.

Цитирование: Сойфер, В.А. Human fActor / В.А. Сойфер // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11, №1(39). – С.8-19. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.

Введение. Развитие индустрии и общества

Данная статья является журнальным вариантом лекции¹, прочитанной автором на конференции *Artificial Intelligence Journey (AIJ) 2020*². Она в определённой мере является обзорной, базируясь на ряде публикаций о трансформации общества в условиях четвёртой промышленной революции - Индустрии 4.0, на которые сделаны ссылки в соответствующих местах.

Безусловно, уклад общества формируется под влиянием технического прогресса, развития индустрии. Можно наблюдать (рисунок 1), что до определённого периода времени роль отдельного человека в производстве материальных благ постоянно снижалась. Поэтому люди в штыки приняли технический прогресс. Ещё в XVI веке в условиях «Аграрного общества 2.0» Томас Мор в своей «Утопии» [1] сказал знаменитую фразу «Овцы съели людей». Англия стала производить хорошую шерсть, пользующуюся большим спросом, и продавать её было выгоднее, чем продавать хлеб. Начался процесс обезземеливания крестьян, многие из которых обнищали.

¹ Роль человека в мире искусственного интеллекта. <https://youtu.be/O6-qLOkWgUQ>.

² AI Journey – серия мероприятий по искусственному интеллекту и анализу данных, проводимая ведущими российскими и международными компаниями, лидерами по применению технологий искусственного интеллекта. <https://ai-journey.ru/>.

Снижение роли человека характерно и для «Индустриального общества 3.0» (Ч. Чаплин, фильм «Новые времена»), и для предсказанного ещё в 1949 году Джорджем Оруэллом в книге «1984» «Информационного общества 4.0» [2]. Кстати, эта книга стала наиболее популярной книгой 2020 года, и проблема «большого брата» коснулась каждого из нас. Однако, здесь нужно сделать поправку. Пандемия *Covid-19* выявила общественную потребность в новых интеллектуальных продуктах, что привело к возрастанию роли человека в создании таких объектов и, опосредованно, материальных благ.



Рисунок 1 – Развитие индустрии и общества

Надо отметить, что приведённое на рисунке 1 изменение влияния человеческого фактора отражает личную позицию автора, носит умозрительный характер и ставит, безусловно, актуальную для социологов и экономистов задачу его количественной оценки.

Вопрос: «Что будет дальше?», каким будет постинформационное общество, складывающееся в условиях 4-ой промышленной революции под влиянием искусственного интеллекта (ИИ), робототехники, сенсорики, фотоники, биотехнологий, квантовых технологий?

Начать рассмотрение вопроса можно с *позиции оптимиста*.

Риски и угрозы, присущие 4-ой промышленной революции и являющиеся темой многих научных работ, фильмов и книг, кратко изложены в конце статьи.

1 Что такое Общество 5.0?

В 2016 г. правительство Японии приняло стратегию построения Общества 5.0, основы которой были разработаны по инициативе и при активном участии японской федерации крупного бизнеса «Кайданрэн».

Под Обществом 5.0 подразумевается новый исторический тип общественной организации, приходящий на смену четырём предшествующим типам – обществу охотников и собирателей (Общество 1.0), земледельческому (2.0), индустриальному (3.0) и информационному (4.0) обществам. Общество 5.0 именуется также «*Super Smart Society*» [3]. Под «суперинтеллектуальным» поднимается общество, в котором интеллект человека и ИИ дают синергетический эффект.

Сущность Общества 5.0 состоит в объединении ресурсов социума в целом через интеграцию физического и кибернетического пространств.

2 Как функционирует Общество 5.0

В Обществе 5.0 огромный объём информации от датчиков физического пространства аккумулируется в киберпространстве. В киберпространстве эти большие данные анализируются ИИ, а результаты анализа возвращаются человеку в физическое пространство в различных формах [4]. Эволюция современного общества показана на рисунке 2.

Целью Общества 5.0 является полное раскрытие и самореализация, рост продуктивности и эффективности людей на основе взаимодействия цифровых технологий и человека.

Достижение этой цели определяют следующие задачи:

- изучение процессов принятия решений активными личностями-актерами;
- развитие систем ИИ;
- раскрытие талантов и полноценное использование знаний и умений людей;
- коммуникация, как движущая сила прогресса, обеспечивается средствами ИИ;
- развитие моделей и методов выявления и разрешения конфликтов на основе систем ИИ для достижения «баланса интересов».

3 Человеческий фактор

Слово фактор в основном его значении – это «причина, движущая сила какого-либо процесса, определяющая его характер или отдельные черты»³. Например: важный исторический фактор, фактор времени, фактор внезапности и т.п. В словарях русского языка слово «фактор» встречается с конца XVIII века. Восходит оно к латинскому *factor*, что означает буквально «делающий, производящий» (от глагола *facere* – «делать»⁴).

³ Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия. 1969-1978 гг.

⁴ Объяснение 25000 иностранных слов, вошедших в употребление в русский язык, с означением их корней. – А.Д. Михельсон, 1865.

В современных условиях категория «человеческий фактор», главным образом, используется как причина какого-либо явления, чаще отрицательного (ДТП, авария, пожар и др.) [5].

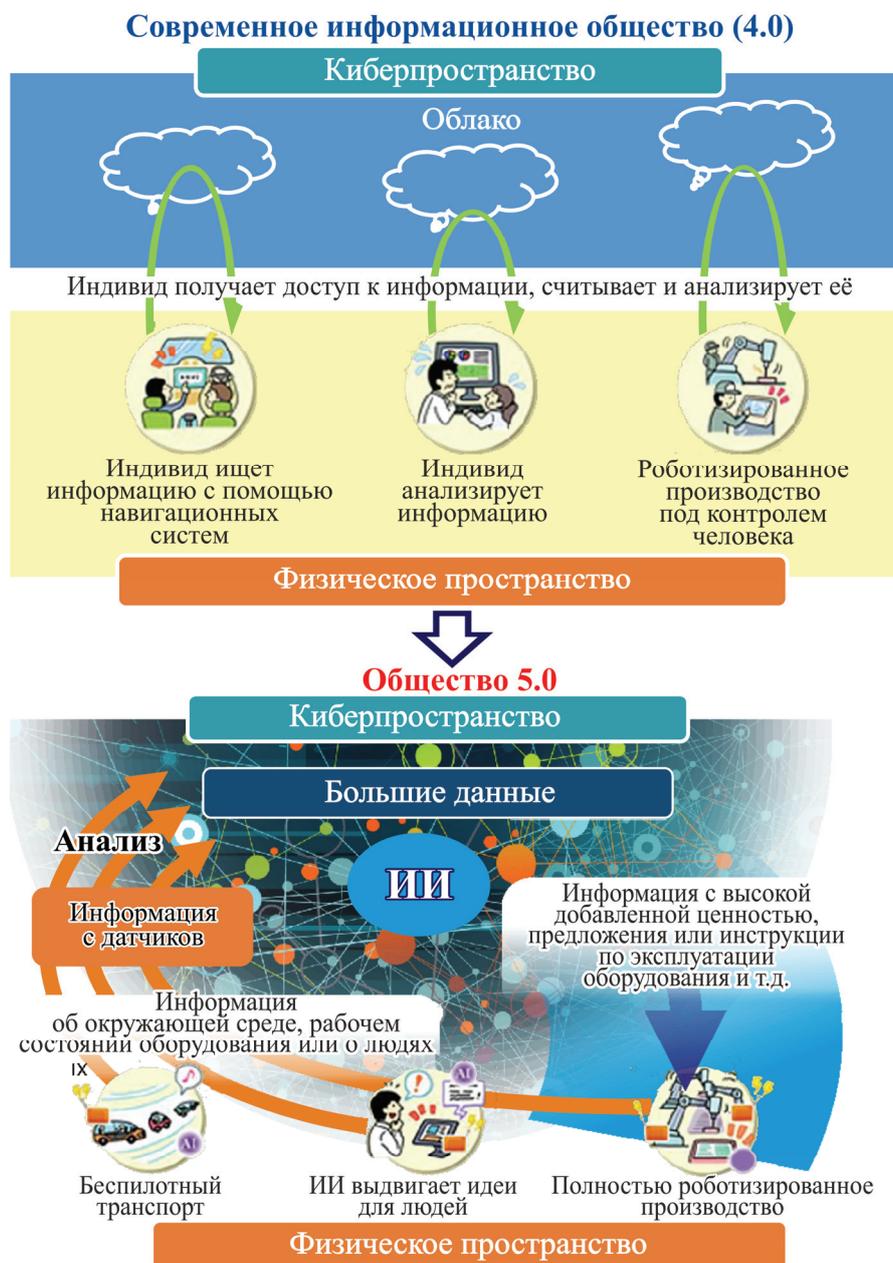


Рисунок 2 – Эволюция современного общества

В Обществе 5.0 – человеческий фактор понятие *позитивное*.

Если Индустрия 4.0 посвящена автоматизации физических процессов, то новый уклад Общество 5.0 в первую очередь ориентирован на автоматизацию процессов коммуникации и сотрудничества людей и интеллектуальных систем [6], причём человеку в этом сотрудничестве отводится лидирующая роль.

Если вернуться к названию данной статьи, то следует отметить его двуединый смысл: «человеческий фактор» и «человек-актор».

4 Базовые технологии развития Общества 5.0

Базовые технологии развития Общества 5.0 включают:

- **автономные вещи** - беспилотные автомобили, умная бытовая техника и дроны, программные агенты;
- базы знаний для **цифровизации** предметных областей в виде семантических сетей (вместо обычных электронных документов);
- интеллектуальные системы, обеспечивающие поддержку принятия решений и собственно принимающие решения по ситуации;
- киберфизические системы на основе **«цифровых двойников»** людей и вещей;
- цифровые платформы и открытые экосистемы **умных сервисов**;
- **интеллект «здорового смысла»** и Интернет агентов людей, вещей, документов («всего»);
- некоторые другие технологии.

Здравый смысл, присущий *Homo Sapiens*, – это пока ещё «тёмная материя» для ИИ. Здравый смысл дан природой, он состоит из неписаных правил, которые люди используют в повседневной жизни.

Нейросеть глубокого обучения *GPT-2* известна своей способностью генерировать правдоподобно выглядящий текст на основе всего одного-двух предложений. На основе выбранного журналистами *The Guardian* фрагмента отчёта о *Brexit* *GPT-2* написала несколько абзацев в публицистическом стиле с убедительными политическими и иными отсылками [7].

Исследователь ИИ Гари Маркус «ввёл в заблуждение» нейросеть *GPT-2*, способную генерировать содержательные тексты, написав: «Если сложить в камин хворост и бросить спичку, появится.....». Сеть *GPT-2* ответила нечто невразумительное. Система, способная писать статьи для *The New Yorker*, должна была бы без труда закончить предложение очевидным словом «огонь». Вместо этого *GPT-2* ответила: «Ик». Со второй попытки система предположила, что появится «IRC-канал, полный людей» [8].

Сотрудник департамента компьютерных наук Университета Южной Калифорнии Сян Рен проверял, насколько современные модели ИИ используют в своих текстах здравый смысл с помощью набора данных с 35 тыс. концепций, связанных с 77 тыс. предложений. Самая эффективная модель генерации текста достигала уровня точности не более 32% [9].

Роботы должны понимать естественные проявления нашей повседневной жизни, и только тогда они смогут предпринимать разумные действия для взаимодействия с людьми. Нет уверенности в том, что нейронные сети, даже с ростом производительности компьютеров, в т.ч. квантовых, самостоятельно смогут решить эту задачу. Необходимо использование баз здравого смысла, которых к настоящему времени создано уже достаточно много, например, *Open Mind Common Sense*⁵ Массачусетского технологического института.

5 Ключевые параметры Общества 5.0 [10]

6 признаков Общества 5.0:

- равенство цифрового и реального мира;
- возможность создания своего комбинированного мира для каждого члена общества;
- снижение зависимости человека от человека;
- превалирование цифровых коллабораций над реальными;
- уменьшение весовой доли человека в структуре себестоимости при производстве материальных благ, при увеличении аналогичной доли в создании объектов интеллектуальной собственности;

⁵ Открытый разум, здравый смысл - <https://www.media.mit.edu/projects/open-mind-common-sense/overview/>.

- существенное возрастание количества компетенций у каждого отдельного члена общества, при сокращении цикла жизни каждой компетенции.

5 вызовов для Общества 5.0:

- законодательные барьеры;
- бюрократическая инертность и сопротивление;
- технологическая отсталость (неготовность);
- недостаток квалифицированных кадров;
- неприятие обществом перемен.

4 слагаемых для Общества 5.0:

- «умное» законодательство»;
- «умная» бюрократия;
- «умные» технологии;
- «умное» общество.

3 итога построения Общества 5.0:

- улучшение качества жизни членов общества;
- увеличение продолжительности жизни членов общества;
- повышение конкурентоспособности субъектов и устойчивости общества в целом.

Таковы ключевые параметры нового общества, которое, при определённых условиях, могло бы возникнуть после информационного общества. Это суперинтеллектуальное общество, общество акторов, людей, которые активно действуют, ведут за собой группы людей, которые активно работают над решением общих проблем.

Количество компетенций у каждого человека будет возрастать, но цикл жизни каждой компетенции будет сокращаться. Это требует перехода от парадигмы «Обучение на всю жизнь» к другой парадигме: «Обучение в процессе всей жизни».

Если киберфизические системы и аддитивные технологии позволяют автоматизировать различного рода процессы производства, то ИИ и новые цифровые технологии дают возможность человеку лучше раскрываться, самореализовываться и повышать продуктивность и эффективность своей деятельности на благо общества.

Об «идеальном» обществе мечтали и писали великие утописты Томас Мор, Томазо Кампанелла, Николай Чернышевский и многие другие. К подобным моделям «справедливого» общества можно отнести и эвергетику самарского учёного профессора В.А. Виттиха [11, 12]. Можно ли отнести суперинтеллектуальное общество, основанное на цифровых технологиях, к утопии? На этот вопрос следует ответить отрицательно. Основным аргументом для такого ответа является четвёртая промышленная революция, уверенно направляющая каждого отдельного человека и социум в целом к совершенствованию.

6 Риски суперинтеллектуального общества

Большое внимание рискам Общества 5.0 уделяют исследователи-гуманитарии [13], исследователи сложных систем [14], писатели-фантасты и создатели фильмов-ужасов. Рамки журнальной статьи не позволяют дать сколько-нибудь полный обзор всей совокупности этих рисков, поэтому рассматриваются только основные.

Социальные и политические риски:

- существенный рост безработицы, связанный с роботизацией неквалифицированного труда, отмиранием рутинных профессий, вытеснением человека из сферы производства и управления в сфере обслуживания;
- неравный доступ к благам цифровой цивилизации, в первую очередь к биомедицинским технологиям;

- возникновение Интернет-центров власти как угрозы традиционным политическим институтам.

Личностные риски:

- тотальное социальное отчуждение, влекущее десоциализацию индивида (киберсоциализация может принять стихийный характер);
- размывание традиционных черт личностной идентичности, личность будет растворяться в «цифровой кислоте» и замещаться виртуальными «аватарами»;
- цифровое манипулирование сознанием людей.

Уровень доверия:

Академиком РАН И.А. Каляевым поставлен вопрос: «Насколько мы можем и должны доверять решениям, предлагаемым ИИ?» [15]. Автор вопроса привёл пример суперкомпьютера *WATSON*, который, по мнению разработчиков, должен был заменить врачей при диагностике и лечении онкологии. Для этого *WATSON* два года обучался на базе более чем 600000 медицинских документов и 25000 историй болезни, а затем его подключили к целому ряду медицинских центров США, ЕС и Азии. Но в 2018 году многие из них отказались от его услуг. Дело в том, что совпадение терапии, назначаемой *WATSON* и врачом-человеком одному и тому же пациенту, оказалось менее 50%. А ведь речь шла о жизнях людей. Медики не рискнули ставить на больных эксперимент подтверждения или опровержения правильности рекомендаций ИИ.

7 Послесловие

Гуманитарные вызовы 21 века сложны и взаимосвязаны. Быстрые изменения в технологиях, климате и демографии формируют мир, в котором мы живём, открывая новые возможности, но также создавая и новые уязвимости [16]. Красный Крест Австралии создал аналитический центр *Humanitech*, работающий на стыке гуманитарной деятельности и передовых технологий, где исследуются социальные последствия новых технологий, с ориентацией на то, чтобы технологии служили человечеству. Гуманитарии должны привлекать к ответственности технологов и спрашивать: «Что дальше?» - когда технология была использована; какие новые уязвимости или риски могут возникнуть в результате её применения.

Главный итог только что вышедшего Отчёта этого центра: «Пора поставить человечество на первое место, чтобы обеспечить широкое распространение его преимуществ, чтобы положить конец кругу уязвимых групп населения, которые получают меньше всего и больше всего страдают от новых технологий». Простых решений этой проблемы нет, поэтому приведённый вывод завершается вопросами: «Кто должен это делать? Как?» [16].

Всемирный экономический форум, как международная организация государственно-частного сотрудничества, всерьёз озабочен этой проблемой. В Отчёте о глобальном управлении технологиями отмечается, что четвёртая промышленная революция сыграет ключевую роль в обеспечении выхода из пандемии и избежании будущих кризисов. Ведутся серьёзные споры о степени участия человека в системах на базе ИИ для безопасной и эффективной их работы. Отмечается, что COVID-19 добавил ещё одно измерение в эту дискуссию, поскольку по всему миру стремятся свести к минимуму участие человека в борьбе с пандемией [17].

На рисунке 3 показана в виде двух схем онтология ИИ по версии *World Economic Forum*⁶, в верхней части которой отмечены связи ИИ с сущностями, отвечающими на вопрос для какой цели предназначен ИИ, а в нижней части отмечены связи ИИ с занятостью в будущем. Именно эти вопросы в наибольшей степени определяют роль человеческого фактора в новой цивилизационной парадигме.

⁶ <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDREA2?tab=data>.



Рисунок 3 – Онтология *Artificial Intelligence* по версии *World Economic Forum* (17.02.2021)

Позитивный пример внедрения роботов, как всегда, демонстрирует Япония [18]. В отличие от предыдущих результатов, новое исследование предполагает, что внедрение роботов может расширить занятость и повысить заработную плату. Это связано с тем, что люди могут работать вместе с роботами над будущими технологиями замены рабочей силы, а не быть заменёнными ими [18]. При этом хорошо известны трагедии, когда самолеты разбились, а корабли вышли из строя из-за решений, принятых автономными системами. Вот почему при тестировании автономного транспортного средства резервному водителю может потребоваться быть готовым взять на себя управление, если есть риск аварии [19].

Затронутая тема обсуждается в разных кругах, на различных площадках [20-23], включая многочисленные блоги⁷. Рассматриваются стратегии ИИ [20]; куда нас может привести гонка «ИИ против человеческого интеллекта»? [21]; является ли ИИ угрозой для людей? [22]; обсуждаются ИИ, человеческий интеллект и быстрая трансформация (цифровизация и датафикация), через которую проходит наше общество [23].

Заключение

Завершить тему влияния технического прогресса, в частности ИИ, на человека и общество можно известной цитатой из книги [24], которую полностью разделяет автор статьи: «Ведущая роль в новой цифровой эпохе принадлежит человеку. При всех возможностях, которые несут компьютерные технологии, их использование во благо или во зло зависит исключительно от людей».

Благодарности

Автор благодарен г-ну Уэмуре Норицугу и профессору А.И. Агееву за лекции, прочитанные ими в феврале 2020 года в Самарском национальном исследовательском университете им. С.П. Королева и последующие плодотворные дискуссии об Обществе 5.0.

Автор признателен руководству Сбера за предложение прочитать лекцию на конференции AIJ 2020 в декабре 2020 года.

Автор благодарен д.т.н. А.В. Куприянову за обсуждение данной статьи, а также профессору Н.М. Боргесту за предложение написать статью в журнал и ценные дополнения.

Список источников

- [1] *Томас Мор*. Утопия / Перев. с лат. Ю.М. Каган. М.: Наука, 1978. 417 с.
- [2] *Orwell, George*. Nineteen Eighty-Four. A novel. London: Secker & Warburg. 1949. 328 p.
- [3] *Норицугу, У.* Общество 5.0: взгляд Mitsubishi Electric / У. Норицугу // Экономические стратегии. – 2017. – № 4. – С.2-11.
- [4] *Uemura, N.* Society 5.0 – Japan’s approach to digitalisation of economic growth / N. Uemura. 2017. <https://ppt-online.org/713321>.
- [5] Человеческий фактор. http://ru.wikipedia.org/wiki/Человеческий_фактор.
- [6] *Atwell, C.* Yes, Industry 5.0 is Already on the Horizon / C. Atwell. <https://www.machinedesign.com/industrial-automation/yes-industry-50-already-horizon>.
- [7] *Hern, A.* New AI fake text generator may be too dangerous to release, say creators / A. Hern // The Guardian. – February 14, 2019. <https://www.theguardian.com/technology/2019/feb/14/elon-musk-backed-ai-writes-convincing-news-fiction>.

⁷ <http://www.differencebetween.net/science/difference-between-artificial-intelligence-and-human-intelligence/>,
<https://www.educba.com/artificial-intelligence-vs-human-intelligence/>,
<https://www.aurecongroup.com/expertise/digital-engineering-and-advisory/artificial-intelligence-vs-humans>.

- [8] **Pavlus, J.** Common sense comes closer to computers / J. Pavlus // The Guardian. April 30, 2020. <https://www.quantamagazine.org/common-sense-comes-to-computers-20200430>.
- [9] **Blumenthal, A.** New test reveals AI still lacks common sense / A. Blumenthal // EurekAlert! November 18, 2020. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-11/uosc-ntr111820.php.
- [10] Общество_5.0. http://ru.wikipedia.org/wiki/Общество_5.0.
- [11] **Vittikh, V.A.** Prolegomena to evergetics / V.A. Vittikh // Ontology of designing. 2015; 5(3): 135-148. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
- [12] **Виттих, В.А.** Понятие интерсубъективности в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). – С.90-97.
- [13] **Щелкунов, М.Д.** Общество 5.0 в технологическом, социальном и антропологическом измерениях / М.Д. Щелкунов, А.П. Каримов // Вестник экономики, права и социологии. – 2019. – № 3. – С. 159-164.
- [14] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования Super Smart Society: сущности, понятия, проблемы / Н.М. Боргест // XXI международная научная конференция "Проблемы управления и моделирования в сложных системах" (ПУМСС-2019). 2019. Т.2. С.9-14.
- [15] **Каляев, И.** Камо грядеши? / И. Каляев // Поиск. – 15.01.2021. – № 1-2. – С. 8-9.
- [16] **Young, L.** Future of Vulnerability: Humanity in the Digital Age / L. Young, I. Jurko // Humanitech, Australian Red Cross, Melbourne. Report. 2020. 40 p. https://www.redcross.org.au/getmedia/884addbe-24cc-45da-9dff-449a37d0a84d/Red-Cross-FOV-Combined-Digital_2.pdf.aspx.
- [17] Global Technology Governance Report 2021: Harnessing Fourth Industrial Revolution Technologies in a COVID-19 World. In Collaboration with Deloitte. Insight Report December 2020. 67 p. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Technology_Governance_2020.pdf.
- [18] **Adachi, D.** Will robots be good or bad for our jobs? Here are lessons from Japan / Daisuke Adachi, Daiji Kawaguchi, Yukiko Umeno Saito // The World Economic Forum. 15 Feb 2021. <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/robots-artificial-intelligence-japan/>.
- [19] **Eliot, L.** Human In-The-Loop Vs. Out-of-The-Loop in AI Systems: The Case of AI Self-Driving Cars / Lance Eliot // AI Trends, 9 April 2019, <https://www.aitrends.com/ai-insider/human-in-the-loop-vs-out-of-the-loop-in-ai-systems-the-case-of-aiself-driving-cars/>.
- [20] **Боргест, Н.М.** Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. 2019. Т. 9, №4 (34). С.407-428. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [21] **Kumar, V.** Where Will The Artificial Intelligence vs Human Intelligence Race Take Us? / Vasanth Kumar // Mar 19, 2020. <https://www.mygreatlearning.com/blog/artificial-intelligence-human-intelligence/>.
- [22] **Marr, B.** Is Artificial Intelligence (AI) A Threat To Humans? / Bernard Marr // Mar 2, 2020, Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/03/02/is-artificial-intelligence-ai-a-threat-to-humans/?sh=3ed6ab28205d>.
- [23] **Bøgehoj, L.** Artificial Intelligence vs. Human Intelligence (Man vs. Machine) / Lucas Bøgehoj // Discussion paper on Artificial Intelligence, Human Intelligence and the rapid transformation of digitalization and datafication that our current society is going through. December 2016. 20 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.28050.35526.
- [24] **Schmidt, E.** The new digital age: Transforming nations, businesses, and our lives / E. Schmidt, J. Cohen. – New York: Vintage Books, 2013. – ISBN 978-0-307-94705-5.

Сведения об авторе



Соифер Виктор Александрович, 1945 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королева в 1968г., д.т.н. (1981), профессор (1983), академик РАН (2016), президент Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Член Международного оптического общества (SPIE), член правления Международной ассоциации распознавания образов (IAPR), член Межведомственного совета по присуждению премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники. В списке научных трудов 700 работ. Author ID (RSCI): 3028; Author ID (Scopus): 36836834300; Researcher ID (WoS): C-3088-2017. soifer@ssau.ru.

Поступила в редакцию 11.02.2021, Принята к публикации 10.03.2021.

Human fActor

V.A. Soifer

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

Abstract

We live in the era of the fourth industrial revolution and the natural question to ask are: 'What is next? Who will play a leading role in the new digital world – artificial intelligence (AI) or the humans?' In the search for answers, we need to make a short trip back in history. Technological advances have always led to changes in the social and economic structure: harnessing the power of water and steam, mankind leapt from the hunter society to the agricultural society. The discovery of the electric power and conveyers paved way for the transition to the industrial society. With electronic information technologies, we have found ourselves at the modern stage of development, which is information society. What is the next step? While Industry 4.0 was concerned with the automation of physical & technical processes, the latest trends of Society 5.0 are mostly oriented toward the automation of 'thinking' processes and the human collaboration with intelligent systems. Artificial intelligence and the universal 'digitalization' are intended to promote the achievement of the main goals – an increase in life expectancy, improvement of the quality of life, and the emergence of human 'actors' who create the intellectual property objects, which are then materialized by means of cyber-physical systems.

Keywords: artificial intelligence, industrial revolution, actor, human factor, superintelligent society, cyber-physical systems.

Citation: Soifer V.A. Human fActor [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 11(1): 8-19. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-8-19.

Acknowledgment: The author wishes to thank Mr. Uemura Noritsugu and Professor A.I. Ageev for their lectures delivered in February 2020 at S.P. Korolyov Samara National Research University and fruitful follow-up discussions regarding Society 5.0. The author also thanks 'SBER' management for the invitation to give a talk at the AIJ 2020 conference in December 2020. The author is grateful to Professor A.V. Kupriyanov for the discussion of this work, as well as Professor N.M. Borgest for his suggestion to write an article for the journal and valuable additions.

List of figures

Figure 1 – Development of industry and society

Figure 2 – Evolution of modern society

Figure 3 – Artificial Intelligence ontology according to the World Economic Forum (02/17/2021)

References

- [1] **Thomas More.** Utopia [In Russian]. Transl. from lat. YM Kagan. Moscow: Nauka, 1978. 417 p.
- [2] **Orwell, George.** Nineteen Eighty-Four. A novel. London: Secker & Warburg, 1949. 328 p.
- [3] **Noritsugu U.** Society 5.0: The view of Mitsubishi Electric [In Russian]. *Economic Strategies*. 2017; 4: 2-11.
- [4] **Uemura N.** Society 5.0 – Japan's approach to digitalisation of economic growth. <https://ppt-online.org/713321>.
- [5] Human factors and ergonomics. https://en.wikipedia.org/wiki/Human_factors_and_ergonomics.
- [6] **Atwell C.** Yes, Industry 5.0 is Already on the Horizon. <https://www.machinedesign.com/industrial-automation/yes-industry-50-already-horizon>.
- [7] **Hern A.** New AI fake text generator may be too dangerous to release, say creators. Source: <https://www.theguardian.com/technology/2019/feb/14/elon-musk-backed-ai-writes-convincing-news-fiction>.
- [8] **Pavlus J.** Common sense comes closer to computers. <https://www.quantamagazine.org/common-sense-comes-to-computers-20200430>.
- [9] **Blumenthal A.** New test reveals AI still lacks common sense. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-11/uosc-ntr111820.php.
- [10] Society 5.0 [In Russian]. http://ru.wikipedia.org/wiki/Общество_5.0.
- [11] **Vittikh V.A.** Prolegomena to evergetics. *Ontology of designing*. 2015; 5(3): 135-148. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.

- [12] **Vittikh VA.** Concept of intersubjectivity in evergetics [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2014; 4(14): 90-97.
- [13] **Shchelkunov MD, Karimov AR.** Society 5.0 in technological, social and anthropological dimensions [In Russian]. *Bulletin of Economics, Law and Sociology*. 2019; 3: 159-164.
- [14] **Borgest NM.** Super Smart Society design ontology: entities, concepts, problems [In Russian]. XXI International Scientific Conference "Problems of Control and Modeling in Complex Systems" (PCMCS-2019). Vol.2. P.9-14.
- [15] **Kalyaev I.** Kamo gryadeshi? [In Russian]. *Poisk*. January 15, 2021; 1-2: 8-9.
- [16] **Young L, Jurko I.** Future of Vulnerability: Humanity in the Digital Age, Humanitech, Australian Red Cross, Melbourne. Report. 2020. 40 p. https://www.redcross.org.au/getmedia/884addbe-24cc-45da-9dff-449a37d0a84d/Red-Cross-FOV-Combined-Digital_2.pdf.aspx.
- [17] Global Technology Governance Report 2021: Harnessing Fourth Industrial Revolution Technologies in a COVID-19 World. In Collaboration with Deloitte. Insight Report December 2020. 67 p. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Technology_Governance_2020.pdf.
- [18] **Daisuke Adachi, Daiji Kawaguchi, Yukiko Umeno Saito.** Will robots be good or bad for our jobs? Here are lessons from Japan. The World Economic Forum. 15 Feb 2021. <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/robots-artificial-intelligence-japan/>.
- [19] **Lance Eliot.** Human In-The-Loop vs. Out-of-The-Loop in AI Systems: The Case of AI Self-Driving Cars, AI Trends, 9 April 2019. <https://www.aitrends.com/ai-insider/human-in-the-loop-vs-out-of-the-loop-in-ai-systems-the-case-of-aiself-driving-cars/>.
- [20] **Borgest NM.** Strategies of intelligence and its ontology: an attempt to understand [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 407-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [21] **Vasanth Kumar.** Where Will The Artificial Intelligence vs Human Intelligence Race Take Us? Mar 19, 2020. <https://www.mygreatlearning.com/blog/artificial-intelligence-human-intelligence/>.
- [22] **Bernard Marr.** Is Artificial Intelligence (AI) A Threat To Humans? Mar 2, 2020, Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/03/02/is-artificial-intelligence-ai-a-threat-to-humans/?sh=3ed6ab28205d>.
- [23] **Lucas Bøgehøj Nielsen.** Artificial Intelligence vs. Human Intelligence (Man vs. Machine). Discussion paper on Artificial Intelligence, Human Intelligence and the rapid transformation of digitalization and datafication that our current society is going through. December 2016. 20 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.28050.35526.
- [24] **Schmidt E, Cohen J.** The new digital age: Transforming nations, businesses, and our lives. New York: Vintage Books, 2013. ISBN 978-0-307-94705-5.

About the author

Victor Alexandrovich Soifer (b. 1945), graduated from S.P. Korolyov Kuibyshev Aviation Institute in 1968; advanced Doctor of Engineering (1981), Professor (1983); a full member of the RAS (2016), President of Samara National Research University. He is a fellow of the international society for optics and photonics (SPIE), a member of the governing board of the International Association for Pattern Recognition (IAPR), and a member of the interdepartmental council for the Russian Federation Government Awards in Science and Technology. His scientific publications include 700 research works. Author ID (RSCI): 3028; Author ID (Scopus): 36836834300; Researcher ID (WoS): C-3088-2017. soifer@ssau.ru.

Received 11.02.2021. Accepted 10.03.2021.

Понятность онтологической модели как характеристика её качества

С.В. Микони

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН),
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Отмечается тенденция к объединению профессиональных знаний в рамках создания киберфизических систем. Это побуждает сделать их доступными для широкого круга заинтересованных лиц. Рассматриваются различные модели представления знаний с позиций историзма и уровней общности. К трём уровням представления знания по степени его общности – философскому, узкодисциплинарному (профессиональному) и предметному (базы знаний) – предлагается добавить междисциплинарный (общенаучный) уровень. Утверждается, что в основе любой модели представления знаний лежит модель формальной системы и её дочерняя модель – исчисление предикатов. Наглядной моделью представления знаний является помеченный граф. Предложена обобщённая модель, отражающая соотношение знания и познания. Понимание онтологической модели трактуется как средство познания. Вводится термин «понятность» онтологической модели, как свойство, в наибольшей степени характеризующее её качество. Понятность онтологической модели подразделяется на вербальную и системную. Обсуждаются факторы, влияющие на эти составляющие понятности модели. Предлагаются показатели для измерения понятности онтологической модели.

Ключевые слова: модель представления знаний, база знаний, онтологическая модель, формальная система, исчисление предикатов, знание, познание, понимание, понятность модели.

Цитирование: Микони, С.В. Понятность онтологической модели как характеристика её качества / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.20-34. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-20-34.

Введение

Долгий период отдельной автоматизации физического и умственного труда человека привёл к естественному объединению объектов автоматизации в рамках киберфизических систем [1]. Это потребовало объединения усилий специалистов и учёных, работающих в различных областях знания. Убедительным примером необходимости интеграции знаний, накопленных в области функционирования мозга, явился I-й Конгресс CAISC-2020¹, состоявшийся в удалённом формате в октябре 2020 года. В нём приняли участие представители когнитивной науки² и специалисты по автоматизации умственной деятельности, развиваемой в рамках искусственного интеллекта (ИИ). В настоящее время это научное направление представляет собой набор технологий по автоматизации различных функций умственной деятельности. Объединение их в инструмент, сравнимый с функциями мозга, требует применения системного подхода. Поскольку центральным понятием в изучении мозга является знание, взаимодействие учёных, изучающих функционирование мозга, и специалистов, автоматизирующих умственные функции, требует согласованного понимания процессов познания.

¹ I Национальный Конгресс по когнитивным исследованиям, искусственному интеллекту и нейроинформатике. 10 - 16 октября 2020. <https://caics.ru/>.

² Когнитивная наука (англ. cognitive science — наука о процессах познания) — область междисциплинарных исследований, изучающая познание и высшие мыслительные процессы.

Для обобщения узкодисциплинарных подходов к формализации представления знания необходимо обратиться к их истокам. К ним следует отнести работы, начатые во второй половине XX-го века. Вместе с успехами в автоматизации решения вычислительных задач первыми вычислительными машинами учёные задались целью автоматизации умозаключений [2]. Предпосылкой такой автоматизации являлась общность машинного языка для реализации вычислительных операций в двоичной системе счисления и логических операций двоичной логики [3]. К одной из первых практических задач в этом направлении следует отнести автоматическое доказательство теорем [4].

Формализация представления знаний осуществлялась по двум направлениям – программно-прагматическому и бионическому. Теоретической основой первого направления была математическая логика. В частности, на основе метода резолюций, использованного для доказательства теорем, был разработан язык Пролог [5]. За основу второго направления принималась нейросетевая структура мозга. Было предложено два типа представления знаний – декларативное (описательное) и процедурное. Описательное знание отвечает на вопрос: «Как устроено?», а процедурное (операционное) знание отвечает на вопрос: «Как действует?» [6]. Этому делению соответствуют разделы объявлений (*Declare*) и операторов (*Procedure*) в процедурном программировании.

Разработка моделей представления знаний сопровождалась программной реализацией баз знаний (БЗ). По первичности описания связываемых элементов знания (ЭЗ) к БЗ декларативного типа были отнесены сетевая и фреймовая модели представления знаний, а к БЗ процедурного типа – исчисление высказываний и продукционные БЗ [7]. Одним из первых применений БЗ были экспертные системы [8]. Для их проектирования стали создаваться программные оболочки, такие как *Prolog*, *Guru* и др. Примером программной оболочки для сетевого представления знаний, разработанной в СССР под руководством Г.С. Осипова, является система *Simer+Mir* [9].

Объединение БЗ в систему потребовало для их взаимодействия обращения к знаниям более общего типа. Для их обозначения в инженерии знаний был заимствован из философии термин «онтология». Предложивший его Т. Грубер, решавший инженерную задачу создания механизма взаимодействия программных систем БЗ, определил онтологию как «спецификацию концептуализации» [10]. Концептуализацию он объяснил как «абстрактный, упрощённый взгляд на мир, который используется людьми для осуществления некоторой цели» [11]. Однако такое определение концептуализации выглядит слишком общим, поскольку любая модель представляет собой «абстрактный, упрощённый взгляд на мир» и реализует «некоторую цель». Вопрос в том, какой «мир» моделирует онтологическая модель (ОМ) и какую цель она преследует. Термин «концептуализация» использовался Грубером также не только как «взгляд на мир», но и для обозначения *процесса* построения онтологии.

С развитием информационных технологий развивался и язык их описания. В связи с применением в России импортных информационных систем, разработанных на английском языке, многие используемые в них термины в русскоязычном переводе стали употреблять в оригинале с записью на кириллице. При этом англицизмами стали именоваться даже те понятия, которые уже имели русские обозначения. Например, в русскоязычном описании языка *OWL*³ английское слово *concept* не заменили русским синонимом «понятие», а просто перевели на кириллицу как «концепт». Люди, изучающие язык *OWL* и незнакомые с системологией, принимают этот термин за исходный.

Влияние профессионального языка инженерии знаний не ограничилось введением своих терминов для обозначения известных общенаучных понятий. Само восприятие онтологии породило проблему её соотношения с БЗ и общенаучными ОМ, на что стали высказываться

³ Web Ontology Language – язык описания онтологий в семантической сети.

различные точки зрения. Согласно [12] онтология вместе с набором экземпляров классов образует БЗ. «В действительности, трудно определить, где кончается онтология и где начинается БЗ» [13]. По мнению В.А. Лапшина следует различать три уровня знаний [14]:

- 1) Общие или абстрактные знания, описанные в онтологии верхнего уровня (top-level ontologies).
- 2) Знания о конкретной предметной области (ПрО), например, знания по географии, политологии или медицине.
- 3) Конкретные знания, добавляемые в БЗ пользователями или программными агентами.

К третьему уровню знаний отнесены ОМ конкретных задач, решаемых в рамках выделенной ПрО [14], т.е. деление на уровни осуществляется по степени конкретности языка описания знания. Если принять знания о конкретных ПрО за узкодисциплинарные знания, то их объединение логично отнести к *междисциплинарному* (общенаучному) знанию. Оно образует промежуточный уровень между философским и математическим (абстрактным) знанием и узкодисциплинарным знанием.

В то время, как язык БЗ ориентирован непосредственно на машинную реализацию, ОМ верхних уровней предназначены для человеческого понимания идеи или поставленной задачи. Отсюда первична их познавательная ценность. Иными словами, такая модель должна дать человеку знание о новом для него объекте моделирования либо согласовать его знание со знаниями других заинтересованных лиц. При этом для понимания ОМ мозг человека должен проделать определённый объём работы. Для изучения этой проблемы необходимо установить связь понимания с познанием. В свою очередь, познание связано с существующим знанием. Практической целью изучения этой проблемы является разработка методики оценивания понятности ОМ с применением количественных показателей. Её решению посвящена настоящая работа.

1 Формальная система как прамодель представления знания

Для решения поставленной задачи нужно предложить обобщённую модель знания, охватывающую все уровни его представления, начиная с БЗ, которая может быть определена как «база данных, содержащая *правила вывода* и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой ПрО» [15]. Это определение согласуется с точкой зрения Н.Г. Загоруйко о первичности данных: «знания представляют собой краткое обобщённое описание основного содержания информации, представленной в данных» [16]. Определение знания через данные не могло не отразиться на размывании грани между ними на уровне информационных технологий.

Принципиальное различие между знанием и данными следует из философского определения факта. Факт (лат. *factum*) — *событие* (результат); реальное, а не вымышленное; конкретное и единичное в противоположность общему и абстрактному [17]. Из этого определения следует, что информация о том, что *может* или *должно* случиться с рассматриваемым объектом является *знанием*, а о том, что *случилось* — *фактом* (данными). Например, высказывание «человек смертен» свидетельствует о знании одного из законов живой природы. Эта информация «общая и абстрактная». Высказывание «человек (имярек) умер» — эта информация «конкретная и единичная», поскольку речь идёт о состоянии конкретного индивида, что позволяет называть её фактом.

Другим существенным признаком, отличающим знание от факта, являются правила вывода. Они позволяют вывести один факт из другого. Применительно к приведённому примеру из высказывания «человек смертен» следует, что «если *X* есть человек, то *X* умрёт». Нали-

чие правил вывода в любой модели представления знания позволяет утверждать, что все они представляют собой интерпретации формальной системы $F = \langle T, P, A, B \rangle$ [18].

Базовые элементы T задают алфавит ПрО (логический, словарный, предметный и т.д.). Принадлежность элемента x алфавиту T устанавливается за конечное число шагов с помощью процедуры $\Pi(T)$. Синтаксические правила P задают ограничения на построение синтаксически правильных совокупностей – цепочек символов (формул, слов и предложений языка). Синтаксическая правильность цепочек должна устанавливаться за конечное число шагов с помощью процедуры $\Pi(P)$.

Аксиомы A представляют собой подмножество синтаксически правильных совокупностей (формул), общезначимых в ПрО. Для проверки общезначимости должна существовать конечная процедура $\Pi(A)$. В качестве таковой используется построение таблиц истинности для соответствующей формулы. С помощью правил вывода B порождаются новые семантически правильные совокупности, к которым также применимы правила вывода. Таким образом формируется множество выводимых в формальной системе совокупностей (формул), свойственное любой аксиоматической теории.

Различие аксиоматических теорий задаётся трактовкой множеств T, P, A, B . В каждой ПрО определяются свои исходные понятия (аксиомы). Например, к наиболее общим аксиомам в системе понятий относятся неопределяемые слова (пространство, время, отношение и др.). К аксиоматической теории относится исчисление предикатов, лежащее в основе всех моделей представления знания. Всякая формула, выводимая в исчислении предикатов, является общезначимой.

Различие связей между ЭЗ обуславливается различием правил вывода в каждой аксиоматической теории. В исчислении высказываний к ним относятся правила подстановки и *Modus ponens*. В БЗ продукционного типа правилом вывода является условие ЕСЛИ ТО. Правилем вывода дочернего понятия в системах, основанных на отношении наследования, является теоретико-множественная операция объединения существенных признаков понятий-родителей. К правилам вывода в языкознании относятся грамматические правила.

Правила вывода устанавливают связь между ЭЗ, отражая определённые закономерности ПрО. По связности ЭЗ через правила вывода все они представимы помеченным графом. Направленный (ориентированный) граф реализует отношение антисимметрии. Этим свойством обладают следующие виды связей, используемые в системном анализе: связь-обобщение (вид-род), часть-агрегат и связь-композиция (часть-целое), связь-принадлежность (элемент-класс), инструментальная связь (средство-цель), функциональная связь (связь-влияние). К разновидностям функциональной связи относятся причинно-следственная, суммирующая, альтернативная и транзитивная связи [19]. Связи соответствия и аналогии между ЭЗ обладают свойством симметрии.

Сеть со связями, имеющими предметный смысл, называется семантической сетью [20]. Метки вершин семантической сети представляют собой имена понятий. Дуги сети помечаются переходным глаголом и его производными, рёбра сети – непереходным глаголом. Переходный глагол требует присоединения объекта действия (на что направлено действие субъекта). В общем случае связи семантической сети неоднородны, т.е. содержат различные глаголы. Дугам (рёбрам) нагруженной (взвешенной) сети ставится в соответствие интенсивность влияния одной сущности на другую. Таким образом, граф является универсальной и наглядной моделью представления знаний. Это позволяет предложить общую модель «Знание-Познание».

2 Модель «Знание-Познание»

С точки зрения субъекта знание делится на *известное* ему и *неизвестное*. Таким образом, модель знания должна сочетать имеющееся знание со знанием, получаемым извне. Процесс получения внешнего (нового) знания относится к познавательной деятельности. Познание может быть определено как «постижение чего-либо, приобретение знаний о чём-либо; постижение закономерностей неких явлений, процессов и пр.» [21]. Ключевыми словами в этом определении являются «приобретение знаний».

В русском языке слова «знание» и «познание» связаны общим корнем, причём второе из них является производным от первого. А это означает, что модель познания невозможно рассматривать в отрыве от модели знания. В упрощённой трактовке, *познать* – это *узнать что-то новое для себя*. При этом у субъекта, потребляющего знание, предполагается наличие некоторого начального знания, к которому можно прирастить новое знание. Более того, это начальное знание должно быть достаточным для того, чтобы понять новое для субъекта знание.

В получении нового знания участвуют два процесса: *конкретизация* и *обобщение*. Конкретизация представляет собой углубление знания в некотором направлении, а обобщение связано с объединением близких областей знания. Конкретизация и обобщение знания осуществляется в двух отношениях: «общее-частное» и «целое-часть». Представленная на рисунке 1 в виде помеченного графа многоуровневая модель знания отображает отношение «общее-частное».

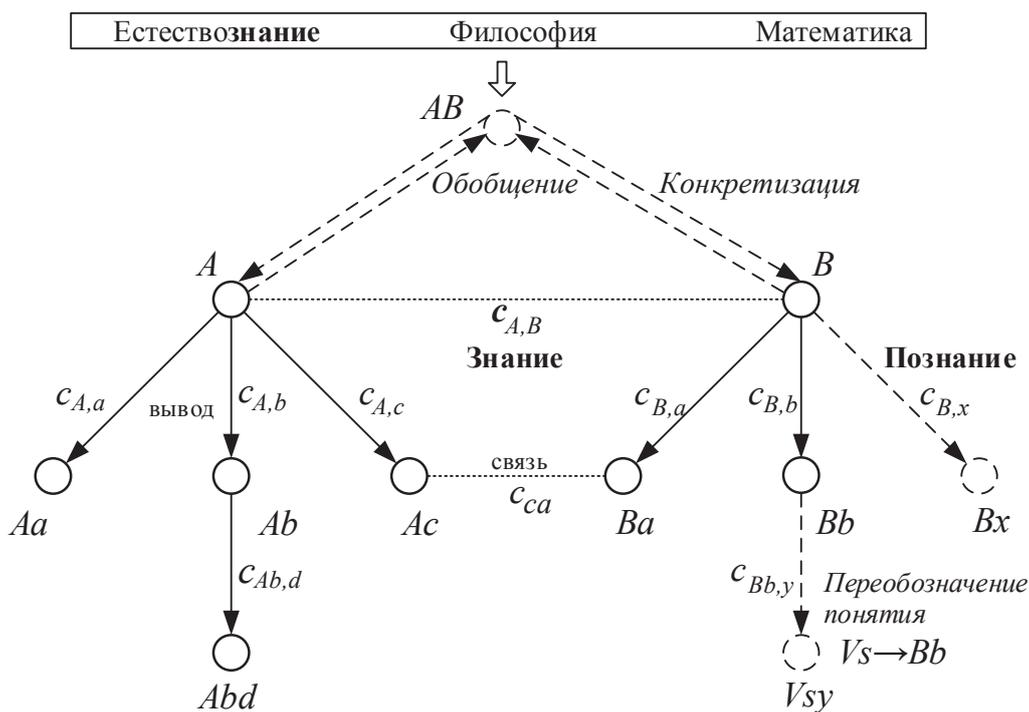


Рисунок 1 – Многоуровневая модель знания

Вершины графа помечены ЭЗ, а связи между ними отражают правила вывода одного элемента из другого. Сплошными линиями помечено имеющееся знание индивида, а пунктирными линиями – приобретаемое им новое знание. Выводимый ЭЗ помечается идентификатором правила вывода, например ЭЗ Aa с применением правила c_a выводится из ЭЗ A : $c_{A,a}: A \rightarrow Aa$. Рёбра, связывающие ЭЗ A и B , соответствуют двунаправленным правилам вывода. Они используются, в частности, при выявлении аналогии понятий.

Модель познания базируется на основе имеющегося знания, подлежащего пополнению в результате процесса познания. Объектами познания на рисунке 1 являются новые ЭЗ Vx и Vsy , а также связи ЭЗ B и A . Связь ЭЗ Vx с ЭЗ B устанавливается с применением правила вывода c_x . Установление связи ЭЗ Vsy с ЭЗ Bb с применением правила вывода c_y осуществляется после определения тождественности ЭЗ Vs и Bb . Операция $Vs \rightarrow Bb$ представляет собой переобозначение знака Vs на принятый в модели знания индивида знак Bb . В силу синонимии знаков Vs и Bb обозначаемое ими понятие не принимается за новое знание.

К процессу познания отнесено также обобщение ЭЗ A и B . Обобщение этих понятий выполняется с применением правил вывода – пересечения содержаний понятий A и B : $C(AB) = C(A) \cap C(B)$ и объединения их объёмов: $V(AB) = V(A) \cup V(B)$. При конкретизации обобщённого понятия эти теоретико-множественные операции меняются местами. В верхней части рисунка 1 приведены привлекаемые для формирования понятий такие области знания, как философия, математика и естествознание.

Конкретизация понятий в отношении «целое-часть» выполняется переходом к другому уровню детальности через определения понятий. Этому уровню соответствует своя сеть понятий. Приобретение нового знания осуществляется через его понимание.

3 Понимание

Проблема понимания возникает при любом общении людей [22]. В значительной степени она связана с выбором слов, применяемых для выражения мысли [23, 24]. Смысл слова «понимание» проще всего соотнести с исходным глаголом «понять» и другим производным от него словом «понятие». Понять – значит выразить мысль через известные субъекту понятия. Процесс понимания представляется как связывание сообщения со смысловой единицей индивидуального опыта адресата [25]. Под известными понятиями (смысловыми единицами) понимаются связи обозначающих их терминов «с отображённым в сознании миром» [26]. В определении понятия, обозначенного незнакомым субъекту термином, связи играют роль существенных признаков.

Присоединение нового понятия к существующему знанию осуществляется с привлечением понятия более общей категории. Если не все определяющие понятия знакомы субъекту, он вынужден обращаться к внешнему источнику знания (словарю, специалисту и пр.) за их определениями. Число операций по узнаванию смысла этих понятий определяет трудоёмкость понимания. Потребитель (реципиент) принимает новое знание, включая его в свою систему, если оно выводимо из его субъективной аксиоматики. При выявлении противоречий субъект либо отвергает новое для него знание, либо изменяет свою систему понятий.

Понимание речи (текста) заключается в *расшифровывании* сообщения [26]. В этом смысле источник сообщения шифрует (кодирует) свою мысль некоторыми словами, погружаемыми в выбранную им грамматическую форму, а получатель сообщения расшифровывает (перекодирует) сообщение в те слова и структуры, которые соответствуют его представлению передаваемой ему мысли. Иными словами, он перекодирует сообщение, изложенное на языке источника, в привычный ему язык. Элементарной перекодировкой является замена слова на привычный для него синоним. Например, англицизм «концепт» русскоязычный читатель заменит близким ему по смыслу русским словом «понятие». На рисунке 1 такая замена обозначена через $Vs \rightarrow Bb$.

Более сложно осуществить перекодировку современного определения термина «онтология». В словаре [27] термин «спецификация» определён как «определение и *перечень* специфических особенностей чего-либо, уточнённая классификация чего-либо». В философском

словаре термин «концептуализация» определён как «процедура введения онтологических представлений в накопленный массив эмпирических данных» [28].

Если заменить слова «спецификация» и «концептуализация» их определениями, данными в цитированных словарях, то получается: *онтология* – это «перечень... процедур введения *онтологических* представлений в накопленный массив эмпирических данных». Во-первых, в определении имеет место порочный цикл, помеченный курсивом. Во-вторых, непонятно, что авторы определения имеют в виду под онтологическим представлением. Таким образом, формальное использование словарей, подобно «испорченному телефону», ещё больше запутало смысл анализируемого словосочетания.

В [12] онтология определена как «спецификация концептуальной модели – концептуализация». В этом определении поставлен знак равенства между разными категориями понятий – предмет (перечень особенностей...) и процесс (концептуализация). Авторы поясняют концептуализацию как «структуру реальности, рассматриваемую независимо от словаря ПрО и конкретной ситуации» и поясняют её «набором возможных положений кубиков».

Концептуализацию можно характеризовать как «процесс построения модели» [14]: «Следует отметить, что английский термин *concept* означает ничто иное, как понятие. Отсюда можно вывести значение термина концептуализация, как построение системы понятий, отражающей данную ПрО». Иными словами, ОМ – это отношения на множестве понятий. Но понятия используются и в моделях представления знаний и данных, и в концептуальных схемах. Если все они принадлежат классу ОМ, то ОМ обобщают любые модели представления знаний. Это согласуется с определением в [14]: «онтологии представляют собой описания знаний».

В пояснении термина «*conceptualization*» в переводчике Google⁴ приводится «*the action or process of forming a concept or idea of something*», что означает *процесс формирования понятия или идеи чего-либо*. Однако смысл понятия следует не из слов, а из того, что ими обозначают. Слова играют роль активаторов в понимании понятия. Для понимания термина необходимо представлять себе ту предметную реальность, которая за ним стоит.

В рассматриваемом случае известно, что результатом указанного действия является некоторая модель, выраженная на языке понятий. Согласно системологии элементами этой модели являются понятия, а связи между ними выражают выбранный тип бинарного отношения. Структурно-операционная модель (СО-модель) процесса понимания термина «концептуализация» представима следующей последовательностью умозаключений [29].

- 1) Анализ структуры этого слова показывает его принадлежность категории «процесс».
- 2) Поскольку в англоязычном определении отсутствует цель действия, необходимо исходить из его результата, т.е. модели чего-либо.
- 3) Объектом моделирования является некоторый замысел, идея (*conception*).
- 4) Следовательно, целью процесса является создание модели этой идеи.
- 5) Согласно постулатам системологии делается вывод о том, что модель, как система, состоит из элементов и связей между ними.
- 6) Элементами модели идеи должны являться понятия, поскольку мысль формируется в понятиях (*concepts*) и образах (*images*).
- 7) Для связывания понятий необходимо выбрать тип бинарного отношения.

По сравнению с термином «концепт» трудоёмкость перекодировки термина «концептуализация» увеличилась в 7 раз. Результатом семи шагов рассуждения является его трактовка как *формирование модели идеи на языке понятий*. А результатом формирования модели идеи является *концептуальная схема* [14].

⁴ <https://translate.google.ru/?sl=en&tl=ru&text=conceptualization&op=translate>.

В отличие от концептуализации термин «онтология», как учение о сущем, относится к категории предмета, а не процесса. А к сущему относится всё то, что существует и может существовать. Следовательно, в онтологии первичны сущности, выраженные в понятиях. Набор соответствующих понятий формируется в тезаурусе ПрО, а связанные между собой понятия образуют систему понятий.

Математики представляют логическую онтологию ориентированным графом [30]. С этой точки зрения тезаурус представляет собой нуль-граф, а система понятий ПрО и концептуальная схема – связанные графы. Отсюда можно также сделать вывод о том, что логическая онтология представляет собой скелет семантических и вычислительных сетей, связывая между собой элементы знания разного типа правилами вывода.

4 Понятность ОМ

Понятность ОМ вбирает в себя практически все требования, предъявляемые к её качеству [31]. ОМ понятна, если при ознакомлении с ней не возникают вопросы. Поскольку наглядным представлением любой ОМ является граф, вопросы возникают к обозначению вершин графа и связей между ними. Следовательно, степень понятности ОМ можно определять по количеству возникших вопросов.

Наиболее просто проблема понимания обозначений (знаков) путём их стандартизации решена в математике из-за отсутствия в ней предметных смыслов. А абстрактных смыслов не так уж много. Неизвестные переменные обычно обозначаются через x , y и z . Кортеж переменных $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ обозначается через x . Система взаимосвязанных кортежей (векторов) обозначается через матрицу X . Бинарное отношение на множестве переменных X обозначается символом R (Relation): $R \subseteq X \times X$. Аналогичные соглашения используются для обозначения различного вида функций. Признание этих обозначений международным сообществом учёных определяет международный статус языка математики.

Существуют стандарты обозначений и в таких дисциплинах, как физика и химия. Например, в качестве обозначений переменных в формуле $F=m \cdot a$ второго закона Ньютона приняты первые буквы слов *force* (сила), *mass* (масса) и *acceleration* (ускорение), что способствует более быстрому пониманию смысла этого закона.

Поскольку предметные ОМ используют естественный язык, их понятность, прежде всего, означает понимание адресатом используемых в них слов. Зачастую выбранный термин не только не проясняет смысла обозначаемого понятия, но провоцирует ложный смысл, т.е. является ложно ориентированным. На необходимость однозначного понимания терминов обратил внимание Р. Акофф⁵: «Многие разногласия и конфликты происходят вследствие того, что стороны употребляют один термин в разных смыслах» [32]. Эта проблема ещё более актуальна для современного русского языка, вобравшего много иностранных терминов.

Автор давно пытается понять причины пристрастия людей к словам иностранного происхождения [33]. Ссылки на международный характер науки не имеют отношения к передаче знаний носителям русского языка в русскоязычной литературе.

Одним из основных требований к научному языку является *однозначное описание фактов и причинно-следственных зависимостей*. Это требование не касается происхождения применяемых слов. Профессиональная терминология в значительной степени зависит от языка тех исследователей, которые ввели новые понятия. В области информатики передовые позиции заняли носители английского языка. Проблема состоит в замене иностранных слов на русские синонимы.

⁵ Справедливости ради стоит вспомнить Рене Декарта, которому принадлежит ставшая очевидной мысль: «Определяйте значения слов - и вы избавите свет от половины его заблуждений». *Прим. ред.*

Например, русское слово «понятие» даже в количестве букв не уступает англицизму «концепт». По сравнению с понятием слово «концепт» не вносит никакой новизны в научный лексикон. И, тем не менее, это слово продвигается в числе других англицизмов (интенционал, экстенционал, контент, паттерн и др.) в русский язык. При таком упорстве любителей иностранных слов через некоторое время стараниями статистиков из корпусной лингвистики концепт признают за основное слово русского языка, а понятие – за его устаревший вариант.

Первопричина предпочтительного применения иностранных слов лежит в использовании чужого инструментария и технологий, которыми приходится пользоваться российским учёным, за неимением своих.

Новые слова образуются на базе имеющейся производящей основы (корня слова) путём сочетания её с различными аффиксами (лат. *affixus* — «прикрепленный»), образуя словообразовательное гнездо. В русском языке используются следующие аффиксы: префиксы (приставки), суффиксы, постфиксы (-то, ся), интерфиксы (соединительные гласные), флексии (окончания). Поскольку каждая часть слова что-то выражает, несёт какой-то смысл, общий смысл слова складывается из значений всех его составных элементов.

Русский язык, как и языки других развитых наций, представляет собой универсальную знаковую систему для отображения любых действий и действительности. Как известно, «недостатки являются продолжением достоинств» и наоборот. К таким преимуществам русского языка следует отнести развитость правил грамматики. В естественном языке они играют роль правил вывода. В этом смысле морфологический способ словообразования в русском языке более богат, чем в английском языке, благодаря обилию суффиксов, приставок и окончаний. Приведём примеры словообразования, показывающие преимущества русского языка над английским в преемственности смыслов.

Слово *понятие* является производным от близкого по смыслу производящего слова *понять*: *поня(ть) → поня-ти-е* [34]. В английском языке цепочка вывода между словами *to understand* и *concept* отсутствует. Для определения этой связи требуется двукратное обращение к англо-русскому словарю. Для обыденного знания термин «понятие» не требует пояснения, поскольку органически выводится из общеизвестного слова «понять».

Другим примером словообразования является цепочка вывода: *знать → по-знать → познани[e]*. В слове *познание* приставка «по» имеет смысл *пополнения* знания. Такая привязка к слову «знание» позволяет понять смысл слова «познание» в отсутствие его определения. Для сравнения в английском языке грамматическая связь между соответствующими словами *knowledge* и *cognition* отсутствует. Вывод смысла слова *cognition* на основе базового понятия *knowledge* требует нахождения их смысла через определения. Для носителя русского языка связь между этими словами устанавливается через перевод: *knowledge → знание* и *cognition → познание*. Из связи *знание → познание* следует связь: *knowledge → cognition*. По числу стрелок – четыре против одной – в 4 раза увеличивается количество операций для установления связи *knowledge → cognition* при восприятии этих слов русскоязычным читателем.

Понимание связи между двумя вершинами *A* и *B* помеченного графа обусловлено соответствием смысла понятий связывающему их правилу $s_{A,B}: A \rightarrow B$. Пример. Пусть требуется установить инструментальную (цель-средство) связь между таким свойством транспортного средства (ТС), как *манёвренность*, и целью его реализации.

Альтернативами целевых свойств для понятия *манёвренность* являются *безопасность* и *устойчивость*. Были предложены следующие содержания этих понятий [35]:

$S(\text{безопасность}) = \{\text{уйти, укрыться, защититься, устранить (опасность)}\}$.

$S(\text{устойчивость}) = \{\text{устранить (отклонение)}\}$.

В широком смысле *манёвренность* представляет собой способность ТС *обходить препятствия движению*. Общность существенных признаков *уйти* и *обходить*, выявленную через глагол *ходить*, позволяет отнести *манёвренность* в качестве одного из средств обеспечения безопасности ТС. Таким образом, сомнение в справедливости связи между двумя вершинами A и B по правилу $c_{A,B}: A \rightarrow B$ требует выделения и сопоставления существенных признаков из определений понятий A и B .

5 Показатели понятности ОМ

Для оценивания понятности ОМ можно использовать число вопросов, возникших у адресата модели при ознакомлении с ней, и число операций, которое может потребоваться для нахождения ответов на эти вопросы.

Степень понимания адресатом ОМ смысла используемых в ней слов (знаков) можно назвать *вербальной* (словесной) понятностью ОМ. Степень понимания связей между понятиями модели можно назвать *системной* понятностью ОМ.

Для установления показателей понятности представим ОМ помеченным графом $G = (V, E, C)$, где V – множество вершин графа, E – множество дуг, а C – множество меток вершин C_v и дуг C_e : $C = C_v \cup C_e$. Роль меток в ОМ играют слова и специальные знаки.

Число вершин и дуг в графе G равны соответственно $|V| = n$ и $|E| = m$. Число слов (меток) $|C_v|$, обозначающих вершины графа, равно $|C_v| = n$ при условии отсутствия повторения понятий в модели (вершин с одинаковыми обозначениями).

Число слов (меток) $|C_e|$, обозначающих дуги графа, равно $|C_e| = 1$ при наличии одного правила вывода любого понятия и равно $|C_e| = m$ при разных правилах вывода каждого понятия: $1 \leq |C_e| \leq m$. Число слов в ОМ обозначено через N : $n + 1 \leq N \leq n + m$. Тогда количественно вербальную понятность ОМ можно оценить показателем Π_B :

$$\Pi_B = \frac{N - N_{\text{нп}}}{N} \quad (1)$$

В формуле (1) через $N_{\text{нп}}$ обозначено число слов, не понятых адресатом модели. В том случае, если смысл всех слов модели понятен её адресату, $\Pi_B = 1$. Очевидно, что значение показателя вербальной понятности модели зависит как от её создателя, так и от её пользователя. На этапе разработки модели её разработчик формирует список обозначений понятий, действовавших в модели. На выбор обозначений влияет категория усреднённого адресата модели, определяемая степенью его образованности (студент, практик, учёный, администратор, любознательный читатель и т.п.). Чем удачнее выбраны обозначения, тем ближе значение Π_B к единице.

С другой стороны, понятность ОМ зависит от словарного запаса индивидуального пользователя и от его предпочтений. Например, любитель русской словесности будет заменять иностранные слова более понятными ему русскими синонимами. Работа мозга по перекодировке непонятных или неприятных слов модели оценивается l -мерным кортежем типовых операций: $\mathbf{a}_1 = (a_{11}, \dots, a_{1j}, \dots, a_{1l})$. Среди слов, участвующих в трактовке термина 1, может встретиться i -е слово с непонятым смыслом, разъяснение которого потребует i -го кортежа операций: $\mathbf{a}_i = (a_{i1}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{il})$ и т.д.: $\mathbf{a}_k = (a_{k1}, \dots, a_{kj}, \dots, a_{kl})$. Итоговая совокупность операций, необходимая для понимания термина 1, описывается матрицей \mathbf{A}_1 .

$$\mathbf{A}_1 = \begin{matrix} & a_1 & \dots & a_j & \dots & a_l \\ \mathbf{a}_1 & a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1l} \\ \mathbf{a}_i & a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{il} \\ \mathbf{a}_k & a_{k1} & \dots & a_{kj} & \dots & a_{kl} \end{matrix}$$

Элементы матрицы \mathbf{A} формируются по правилу:

$a_{ij} = 1$, если j -я операция применяется для трактовки i -го термина, иначе $= 0$.

Выяснение смысла $N_{\text{нп}}$ терминов требует формирования $N_{\text{нп}}$ матриц операций. На их основе, оценив среднюю длительность τ_j j -й операции, можно определить среднее время понимания обозначений модели:

$$T = \sum_{s=1}^{N_{\text{нп}}} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l a_{jis} \cdot \tau_j. \quad (2)$$

Время поиска ответов на возникшие вопросы не должно превышать допустимого порога $T_{\text{доп}}$ ($T \leq T_{\text{доп}}$).

Системность ОМ характеризуется числом связей между понятиями. В помеченном графе $G = (V, E, C)$ оно определяется числом дуг m :

- 1) $m = 0$ (нуль-граф) означает *не выводимость* понятий друг из друга по причине отсутствия связей между ними;
- 2) $m = n - 1$ (связный граф) означает наличие одного пути в графе G , из чего следует наличие *одной аксиомы* (вершины-истока), *одного заключения* (вершины-истока) и от 1 до $n - 1$ *правил вывода*;
- 3) $m = n \cdot (n - 1) / 2$ (полный граф) означает выводимость любого понятия *из всех остальных*;
- 4) $n - 1 < m < n \cdot (n - 1) / 2$ означает наличие *хотя бы одной посылки с более чем одним заключением* или *хотя бы одного заключения, сделанного на основе более чем одной посылки*.

Системная понятность ОМ оценивается показателем Π_c , подобным показателю Π_b :

$$\Pi_c = \frac{m - m_{\text{нп}}}{m} \quad (3)$$

В формуле (3) через $m_{\text{нп}}$ обозначено число связей, непонятых адресатом модели. Если смысл всех связей графа понятен её адресату, $\Pi_c = 1$. Наибольшее число операций ознакомления с ОМ имеет место для полного и пустого (нуль-) графа. Оно равно максимальному числу связей между n вершинами графа: $n \cdot (n - 1) / 2$. Это число операций очевидно для анализа полного графа. Для нуль-графа оно требуется для того, чтобы убедиться в принадлежности всех n вершин группе C_v .

Выявление истинности/ложности сомнительной связи между двумя ЭЗ требует, подобно нахождению смысла непонятых адресатом слов, выполнения некоторого перечня операций. Согласно примеру, приведённому в конце предыдущего раздела, к ним относятся: поиск определений соответствующих понятий, выделение из них существенных признаков и их сопоставление. В том случае, если перечень этих операций определён, можно воспользоваться формулой (2), чтобы оценить среднее время понимания связей между ЭЗ ОМ.

Предложенные формулы могут быть положены в основу методики оценивания понятности ОМ. Использование формулы (2) требует типизации операций, потребных для нахождения ответов на возникшие вопросы по модели, а также оценивания среднего времени выполнения этих операций.

Заключение

Содержательный и формальный анализ ОМ показывает, что в основе всех их разновидностей лежит модель формальной системы и язык исчисления предикатов. Универсальной моделью представления знаний является помеченный граф, отражающий логические связи между ЭЗ различного уровня общности.

К трём уровням представления знания по степени его общности – философскому, узкодисциплинарному (профессиональному) и предметному (базы знаний) – следует добавить

междисциплинарный (общенаучный) уровень. ОМ этого уровня должны быть доступны для понимания специалистами различных профилей.

Представление знания в форме логической сети удобно для анализа проблем познания и понимания. Как приращение знания, модель познания представима фрагментом логической сети, присоединяемым к модели имеющегося знания. Понимание выступает в роли средства приращения знания. Оно реализуется путём перекодировки языка внешнего знания на язык представления имеющегося знания.

В понимании предметного знания существенную роль играет национальный язык, опирающийся на специфическое для нации образное представление знания. Различия в образном представлении знания являются одной из причин неоднозначного перевода (перекодировки) с одного языка на другой. Лучшему пониманию моделей способствует преимущественное применение слов национального языка в обозначениях понятий.

ОМ можно оценивать свойством её понятности, которое является важнейшей характеристикой качества ОМ. В работе предложено разделить его на вербальную (словесную) и системную понятность ОМ и приведены количественные показатели этих свойств.

Благодарности

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

Список источников

- [1] *Lee, E.A.* Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach / E.A. Lee, S.A. Seshia // Second Edition, MIT Press, 2017. 564 p.
- [2] *Тьюринг, А.М.* Может ли машина мыслить? / А.М. Тьюринг // Пер. с англ. Под ред. С.А. Яновской. – М.: Изд-во физ.-мат. лит.-ры. 1960. 66 с.
- [3] *Бир, С.* Кибернетика и менеджмент / С. Бир // Пер. с англ. Под ред. А.Б. Челюсткина. Изд. 2-е. – М.: Ком-книга. 2006. 280 с.
- [4] *Чень, Ч.* Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Ч. Чень, Р. Ли. – М.: Наука. 1983. 360 с.
- [5] *Маллас, Дж.* Реляционный язык Пролог и его применение / Дж. Маллас. – М.: Наука, 1990. 464 с.
- [6] *Поспелов, Д.А.* Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту / Д.А. Поспелов. – М.: Наука. 1982. 224 с.
- [7] *Микони, С.В.* Модели и базы знаний / С.В. Микони. – СПб.: ПГУПС. 2000. 155 с.
- [8] Экспертные системы : Принципы работы и примеры / [А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс и др.]; Под ред. Р. Форсайта; Пер. с англ. С. И. Рудаковой; Под ред. В. Л. Стефанюка. - М. : Радио и связь, 1987. 224 с.
- [9] *Осипов, Г.С.* Инструментарий для экспертных систем. Технология Simer+Mir / Г.С. Осипов // Программные продукты и системы, 1990. № 3. - <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=1420>.
- [10] *Gruber, T.R.* The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases / T.R. Gruber // In J. A. Allen, R.Fikes, and E. Sandewell, editors, Principles of Knowledge Representation and Reasoning – Proceedings of the Second International Conference, pp. 601-602. Morgan Kaufmann (1991).
- [11] *Gruber, T.R.* Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies / T.R. Gruber // Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, Technical Report KSL-91-66, March 1992.
- [12] *Добров, Б.В.* Онтологии и тезаурусы. Модели, инструменты, приложения / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев. – М.: Бином, 2009. – 173 с.
- [13] *Ной, Н.Ф.* Разработка онтологий 101: руководство по созданию Вашей первой онтологии / Н.Ф. Ной, Л. Дэбора. 2001. ifets.ieee.org/russian/depository/ontology101_rus.doc.
- [14] *Лапшин, В.А.* Онтологии в современных системах. Информационный подход / В.А. Лапшин. – М.: 2009. – 247 с. <http://isdwiki.rsuh.ru/moodle/pluginfile.php/128/course/section/36/bookLapshin.pdf>.
- [15] ISO/IEC/IEEE 24765-2010, Systems and software engineering –Vocabulary.

- [16] **Загоруйко, Н.Г.** Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Изд-во ин-та математики, 1999. 270 с.
- [17] Новая философская энциклопедия в 4-х томах/ Научно-ред. совет: В.С. Стёпин, А.А. Гусейнов, Г.Ю. Семигин, А.П. Огурцов. - М.: Мысль, 2010. Т.1-4. 2816 с.
- [18] **Смальян, Р.М.** Теория формальных систем / Р.М. Смальян. – М.: Наука. 1981. 207 с.
- [19] **Микони, С.В.** Формализованный подход к установлению связи и роли понятий / С.В. Микони // Труды XXI Международной объединенной конференции "Интернет и современное общество, IMS-2018. СПб. 30.05-2.06.2018. Сборник научных статей. - СПб.: Университет ИТМО. 2018. - С.77-86.
- [20] **Roussopoulos, N.D.** A semantic network model of data bases / N.D. Roussopoulos // Department of Computer Science, University of Toronto, 1976. TR No 104. p.105-140.
- [21] **Головин, С.Ю.** Словарь практического психолога / С.Ю. Головин. – Минск: Харвест. 1998. 626 с.
- [22] **Lee, I.J.** Why Discussions Go Astray / Language, meaning and maturity; selections from Ets., a review of general semantics, 1943-1953 / Ed. By S.I. Hayakawa. New-York, 1954. P.42-49.
- [23] **Shands, H.C.** War with words, Structure and Transcendence. The Hague, Mouton, 1971. P.22-23.
- [24] **Бахтин, М.М.** Эстетика словесного творчества. – М.: Искусство, 1986. 445 с.
- [25] **Никифоров, А.Л.** Семантическая концепция понимания // Загадка человеческого понимания. – М.: Изд-во полит. лит-ры, 1991. 351 с.
- [26] **Полонников, Р.И.** Избранные труды в двух томах. Том 1. СПб: "Анатолия". 2013. 495 с.
- [27] Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; Под ред. А.П. Евгеньевой. – 4-е изд., стер. – М.: Полиграфресурсы, 1999.
- [28] Новейший философский словарь. <https://gufo.me/dict/philosophy/КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ>.
- [29] **Микони, С.В.** Улучшение познавательной функции понятий технической диагностики с применением системного подхода и собственных свойств модели / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, № 2(36). – С.163-175.
- [30] **Kosovskaya, T.M.** Isomorphism of predicate formulas as the base of logic ontology construction / T.M. Kosovskaya // International Journal "Information Theory and Applications". 2020. 27(3). P.248-254.
- [31] **Микони, С.В.** О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №3(25). – С.347-360. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [32] **Акофф, Р.Л.** Различия, которые имеют значение: Аннотированный глоссарий различий, важных для менеджмента / науч. ред. и пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. - Томск : Изд. Дом Том. гос. ун-та, 2016. 216 с.
- [33] **Микони, С.В.** Проблемы современной русской терминологии / С.В. Микони // Онтология проектирования. - 2015. Т.5. №4(18). – С.472-484. – DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-472-484.
- [34] **Тихонов, А. Н.** Новый словообразовательный словарь русского языка для всех, кто хочет быть грамотным / А.Н. Тихонов. – М.: АСТ, 2014. 639 с.
- [35] **Микони, С.В.** Связывание показателей в модели оценивания качества сложных объектов на основе определений понятий / С.В. Микони // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. vol.8, no. 2, 2020. P.21-26.
-

Сведения об авторе



Микони Станислав Витальевич, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994), ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций более 320 работ, из них 3 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта, квалиметрии. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; ORCID: 0000-0001-7153-6804. smikoni@mail.ru.

Поступила в редакцию 02.02.2021, после рецензирования 18.02.2021. Принята к публикации 6.03.2021.

Comprehensibility of the ontological model as a characteristic of its quality

S.V. Mikoni

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract

There is a tendency to combine professional knowledge within the framework of the creation of cyber-physical systems. This encourages making them available to a wide range of stakeholders. Various models of knowledge representation are considered from the standpoint of historicism and levels of community. It is proposed to add an interdisciplinary (general scientific) level to the three levels of knowledge representation according to the degree of its generality – philosophical, narrowly disciplinary (professional) and subject level (knowledge base). It is argued that any model of knowledge representation is based on the model of a formal system and its child model, the predicate calculus. A labeled graph is a visual model for representing knowledge. A generalized model that reflects the relationship between knowledge and cognition is proposed. Understanding the model of knowledge is interpreted as a means of cognition. The term of comprehensibility of the ontological model is introduced as a property that most characterizes its quality. The comprehensibility of the ontological model is divided into verbal and systemic ones. The factors influencing these components of model comprehensibility are discussed. Indicators for measuring the clarity of the ontological model are proposed.

Key words: knowledge representation model, knowledge base, ontological model, formal system, predicate calculus, knowledge, cognition, understanding, comprehensibility of the model.

Citation: Mikoni SV. Comprehensibility of an ontological model as a characteristic of its quality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 20-34. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-20-34.

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

List of figures

Figure 1 - Multilevel knowledge model

References

- [1] **Lee EA, Seshia SA.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017. 564 p.
- [2] **Turing AM.** Can a machine think? Per. from English. / Ed. S.A. Yanovskaya [In Russian]. Moscow. Publishing house of physics and mathematics literature. 1960. 66 p.
- [3] **Beer S.** Cybernetics and Management: Per. from English. / Ed. A.B. Chelyustkina. Ed. 2nd. [In Russian]. Moscow. Komkniga. 2006. 280 p.
- [4] **Chen Ch, Li R.** Mathematical logic and automatic theorem proving [In Russian]. Moscow. Nauka. 1983. 360 p.
- [5] **Mallas J.** The Relational Language Prolog and Its Applications [In Russian]. Moscow. Nauka. 1990. 464 p.
- [6] **Pospelov D.A.** Fantasy or Science: Towards Artificial Intelligence [In Russian]. Moscow. Nauka. 1982. 224 p.
- [7] **Mikoni SV.** Models and knowledge bases. Tutorial [In Russian]. St. Petersburg. PGUPS. 2000. 155 p.
- [8] Expert systems. Operating principles and examples [In Russian]. Trans. from English. Ed. V.L. Stefanyuk. Moscow. Radio and svyaz. 1987. 224 p.
- [9] **Osipov GS.** Toolkit for expert systems. Simer + Mir technology [In Russian]. Software products and systems, 1990. No.3. <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=1420>.
- [10] **Gruber TR.** The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. In J.A. Allen, R.Fikes, and E. Sandewell, editors, Principles of Knowledge Representation and Reasoning – Proceedings of the Second International Conference, pp. 601-602. Morgan Kaufmann (1991).
- [11] **Gruber TR.** Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies. Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, Technical Report KSL-91-66, March 1992.

- [12] **Dobrov BV, Ivanov VV, Lukashevich NV, Soloviev VD.** Ontologies and thesauri. Models, Tools, Applications. Tutorial. [In Russian]. Moscow. Binom, 2009. 173 p.
- [13] **Noy NF, McGuinness DL.** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford University. Stanford. CA, 94305.
- [14] **Lapshin VA.** Ontologies in modern systems. Informational approach [In Russian]. Moscow. 2009. 247 p. <http://isdwiki.rsuh.ru/moodle/pluginfile.php/128/course/section/36/bookLapshin.pdf> .
- [15] ISO/IEC/IEEE 24765-2010, Systems and software engineering – Vocabulary.
- [16] **Zagoruiko NG.** Applied methods of data and knowledge analysis [In Russian]. Novosibirsk. Publishing house of the Institute of Mathematics. 1999. 270 p.
- [17] New philosophical encyclopedia in 4 volumes / Nauchno.-Ed. sovet: VS Stepin, AA Guseinov, GYu Semigin, AP Ogurtsov. - M.: 2nd ed., Rev. and add. [In Russian]. Moscow. Mysl, 2010. T. 1-4. 2816 p.
- [18] **Smalyan RM.** The theory of formal systems [In Russian]. Moscow. Nauka. 1981. 207 p.
- [19] **Mikoni SV.** A formalized approach to defining connection and role of concepts [In Russian]. Proceedings of the XXI International Joint Conference "Internet and Modern Society, IMS-2018. St. Petersburg. 30.05-2.06.2018. Collection of scientific articles. St. Petersburg ITMO University. 2018. P.77-86.
- [20] **Roussopoulos ND.** (1976) A semantic network model of data bases. Department of Computer Science, University of Toronto, TR No 104. pp. 105-140.
- [21] **Golovin SYu.** Dictionary of the Practical Psychologist. [In Russian]. Minsk. Harvest. 1998. 626 p.
- [22] **Lee I.J.** Why Discussions Go Astray / Language, meaning and maturity; selections from Ets., a review of general semantics, 1943-1953 / Ed. By S.I. Hayakawa. New-York, 1954, pp.42-49.
- [23] **Shands HC.** War with words, Structure and Transcendence. The Hague, Mouton, 1971, pp.22-23.
- [24] **Bakhtin MM.** Aesthetics of verbal creativity [In Russian]. Moscow. Iskusstvo, 1986. 445 p.
- [25] **Nikiforov AL.** Semantic Concept of Understanding // The Riddle of Human Understanding [In Russian]. Moscow. Izd-vo polit. lit-ri, 1991. 351 p.
- [26] **Polonnikov RI.** Selected works in two volumes [In Russian]. Volume 1. St. Petersburg ITMO University. Anatolia. 2013. 495 p.
- [27] Dictionary of the Russian language: In 4 volumes / RAS, Institute of linguistic. research; Ed. A.P. Evgenieva. - 4th ed., Erased. [In Russian]. Moscow. Polygraphresursy, 1999.
- [28] The latest philosophical dictionary [In Russian]. <https://gufo.me/dict/philosophy/КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ>.
- [29] **Mikoni SV.** Improving the cognitive function of the concepts of technical diagnostics using the system approach and the model's own properties [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 163-175. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-35-48.
- [30] **Kosovskaya TM.** Isomorphism of predicate formulas as the base of logic ontology construction. // International Journal "Information Theory and Applications" 27(3) pp. 248-254. 2020.
- [31] **Mikoni SV.** On the quality of ontological models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 347-360. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [32] **Ackoff RL.** Differences That Make a Difference, An Annotated Glossary of Distinctions Important in Management. Devon. Triarchy Press. 2010.
- [33] **Mikoni SV.** Problems of modern Russian terminology [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 472-484. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-472-484.
- [34] **Tikhonov AN.** A new word-formation dictionary of the Russian language for everyone who wants to be literate [In Russian]. Moscow. AST, 2014. 639 p.
- [35] **Mikoni SV.** Linking indicators in a model for assessing the quality of complex objects based on definitions of concepts [In Russian]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020; 8(2): 21-26.
-

About the author

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994). He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (1998). He is the author and a co-author of more than 320 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematic, system analyses, artificial intelligence, decision making theory, qualimetry. AuthorID (RSCI): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; ORCID: 0000-0001-7153-6804. smikoni@mail.ru.

Received February 02, 2021. Revised February 18, 2021. Accepted March 6, 2021.

Социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем

Н.М. Боргест

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия
Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия*

Аннотация

Рассмотрены социальный и экономический эффекты, связанные с внедрением информационных систем на основных стадиях их жизненного цикла. При создании и внедрении информационных систем отмечается значимость онтологического анализа предметной области, оказывающего существенное влияние на эффективность функционирования этих систем. Сделана попытка оценки исследуемых эффектов. Приведены примеры оценки эффектов, а в случае отсутствия онтологий предметных областей при создании и эксплуатации информационных систем – оценка потерь. Для систем, использующих математические модели объектов, важным является создание параметризованных моделей, позволяющих избегать повторного их построения за счёт изменения значений параметров. Это позволяет автоматически перестраивать модели при различных значениях параметров, не создавая новые. Трудоёмкость построения параметризованных моделей «окупается» многократным их использованием и значительным уменьшением доли рутинного труда специалистов высокой квалификации. На примере процедуры зачисления абитуриентов в университеты России проведены оценки социальных издержек и непроизводительных экономических затрат, которые исчисляются миллиардами рублей. Показано, что адекватный учёт всех атрибутов сущностей в онтологии позволяет построить на её основе информационную систему, способную эффективно решать задачу обработки информации в автоматическом режиме.

Ключевые слова: социальный эффект, экономический эффект, онтологии, жизненный цикл, информационная система.

Цитирование: Боргест, Н.М. Социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.35-50. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.

Предисловие

Очевидность онтологического анализа¹ предметной области (ПрО) при создании информационных систем (ИС)², казалось бы, не вызывает сомнений у специалистов. При этом можно отметить, с одной стороны, содержательные, предметные сложности проведения такого скрупулёзного анализа ввиду отсутствия в ряде ПрО квалифицированных экспертов (онтологов), способных создать адекватную задачам онтологию ПрО, которая могла бы лечь в основу разрабатываемой ИС. С другой стороны, технические, программные трудности полноценной, а не фрагментарной реализации созданной онтологии ПрО в ИС.

¹ Онтологический анализ выполняется путём изучения словаря, который используется для обсуждения характерных объектов и процессов, составляющих ПрО, разработки строгих определений основных терминов в этом словаре и описания логических связей между терминами. Продукт анализа, онтология, представляет собой словарь ПрО, дополненный набором точных определений или аксиом, которые ограничивают значения терминов в достаточной степени, чтобы обеспечить согласованную интерпретацию данных [1] (при этом, сознавая необходимость ограничения предмета статьи, за её пределы выводится проблематика исследования особых эффектов специального вида онтологического анализа – *онтологического анализа данных* [2]).

² ИС - система, предназначенная для хранения, поиска и обработки информации, и соответствующие ресурсы (человеческие, технические, финансовые и т.д.), которые обеспечивают и распространяют информацию [3].

Наибольший интерес для онтологов представляет описание ПрО, в котором выявлены и обозначены все сущности, их атрибуты и отношения, учтены особенности исследуемых процессов и решаемых задач в ПрО, выявлены формализмы, критерии и механизмы принятия решений акторов этой ПрО.

Автор не смог отказать себе в символе, знаке, образе, который бы позволил кратко передать смысл и содержание трудной поисковой работы по созданию онтологии ПрО, её формализации и фактически «выращиванию» искусственного интеллекта (ИИ), разработки его на основе исследования поведения естественного интеллекта (ЕИ), включая анализ функционирования ЕИ и оценку результатов его деятельности.

Для этого он использовал метафору³, обратив внимание на сатирические картины Хосе Переса о медицине [5]. Художнику-карикатуристу удалось создать многоплановые, сюжетные работы, в которых значительная доля сатиры и точно обыгранные стереотипы медицинских профессий. В каждой картине множество символов и деталей, большое количество персонажей. Картина на рисунке 1 в сатирическом жанре показывает работу невролога, каким её представляет художник. При этом, по мнению автора статьи, содержание этой картины можно интерпретировать и как наглядную демонстрацию процесса исследования механизма принятия решения человеком, как исследование работы его ЕИ и формализацию полученных знаний о ПрО. Например, фиксация и описание действий опытного специалиста в конкретной ПрО при решении практической задачи (проектирование, диагностирование и т.п.) с попыткой объяснения принятых им решений лежат в основе построения экспертных систем и онтологий ПрО.

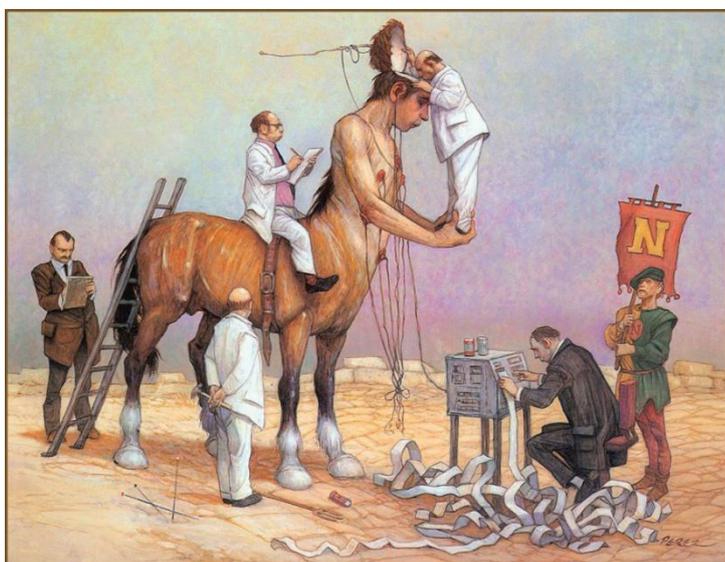


Рисунок 1 – Процесс исследования ЕИ (Невролог, картина Jose Perez [5]) как невербальная метафора построения онтологии и «выращивания» на её основе ИИ

роль в модели описания знания, без которой вход в любую ПрО запрещён. Проектирование онтологии — это творческий процесс, и поэтому потенциальные приложения онтологии, а также понимание разработчиком ПрО и его точка зрения на неё будут, несомненно, влиять на принятие решений» [6].

Введение

Эффект, эффективность, выгода или прибыль – набор важных мер оценки любой деятельности, любого продукта, любой ИС. Традиционно в оценке ИС используют показатели, способствующие повышению качества деятельности (проектирования, диагностики, логистики...) и сокращению сроков выполнения операций и процедур этой деятельности при учёте экономической составляющей, оценивающей процесс.

Трудоёмкость деятельности, рутинный её характер, экологические параметры, удобство и комфорт существенно дополняют перечень показателей.

³ Метафора представляет собой «сознательный перенос названия одного представления в другую сферу – на другое представление» [4]. Метафора облегчает понимание и способствует освоению нового.

Согласно [1] выгоды от развития онтологии могут быть сгруппированы по двум направлениям.

Выгоды от *разработки онтологии*, в которой онтологический анализ ведёт к расширенному пониманию ПрО и полезен для: идентификации проблем (диагностика); идентификации прикладных проблем (причинный анализ); идентификации альтернативных решений (открытия и проектирование); достижения согласия и формирования команд (групп); совместного и многократного использования знаний.

Выгоды от *программ развития онтологии*, где онтологии могут использоваться для: развития систем - онтологии могут использоваться как модели справочников для планирования, координирования и контроля за действиями, управления развитием изделия / процесса, обеспечивая проектирование и разработку более интеллектуальных и интегрированных ИС; реинжиниринга бизнес-процессов - онтологии обеспечивают возможность идентификации и предлагают потенциальные высокоэффективные пути перехода для организационного реструктурирования.

Онтологический подход показал свою пригодность [1] для: формирования согласованных данных, объектно-ориентированного проектирования и программирования; проектирования интерфейса пользователя, информационного моделирования; реинжиниринга бизнес-процессов и концептуального проектирования.

Социальными эффектами от преобразований традиционно занимается социология [7-9], личностной оценкой деятельности – психология [10], оценкой экономической эффективности изменений процесса и средств – экономика [11-13], а интегральные оценки следует искать в целеполагании, целях и ценностях [14, 15]. Анализ интегральных оценок, с одной стороны, говорит о трудности «свёртки» результата, с другой - об искусственном, чаще всего вынужденном, разделении оценки эффекта в плоскостях различных дисциплин.

ИС, как новые сущности в общественном устройстве и как инструменты в его экономическом развитии, органично вписываются в социальные и бизнес процессы, расширяя их спектр и повышая эффективность. Онтологический анализ ПрО здесь во многом является определяющим, т.к. стремится соответствовать реалиям бытия, описывая сущее в нём.

В работе рассматриваются эффекты, которые могут быть получены от функционирования ИС, а также обратная сторона эффекта – это потери реальные и потенциальные в случае отсутствия или не реализации онтологического анализа ПрО при создании ИС.

1 Онтологический анализ в жизненном цикле ИС

Жизненный цикл (ЖЦ) любых артефактов, включая онтологии и построенные на их основе ИС, в центре внимания разработчиков и исследователей [16, 17]. Лучшие практики находят своё отражения и фиксируются в многочисленных стандартах [18-20]. Итерационность процессов проектирования – один из основных признаков этого вида деятельности. Это присуще и процессу разработки онтологий и ИС. В качестве примера на рисунке 2 представлена модель ЖЦ онтологий [16], которая проходит свои стадии обычно не один раз, а на рисунке 3 - итерационный процесс различных стадий разработки ИС [17].

Стадийная модель онтологии справедлива вне зависимости от того, используется онтология компьютерной системой или нет, так как такие системы являются информационными в широком смысле, т.е. включают людей, процессы, аппаратное, программное обеспечение и данные, обрабатывают информацию и принимают решения. Авторы Коммюнике отмечают важность явной оценки онтологий как части ИС и оценки структуры ИС в целом [16].

В стандарте [18] в качестве примера приведены шесть стадий ЖЦ ИС: замысел; разработка; производство; применение; поддержка применения; прекращение применения и спи-

сание. Стадия замысла выполняется для оценки новых возможностей, разработки предварительных системных требований и осуществимых проектных решений. Стадия разработки осуществляется с целью создания такой ИС, которая удовлетворяет требованиям приобретающей стороны и может быть создана, испытана, оценена, применена по назначению, поддержана при применении и списана. Именно для этих стадий важно иметь онтологию ПрО.

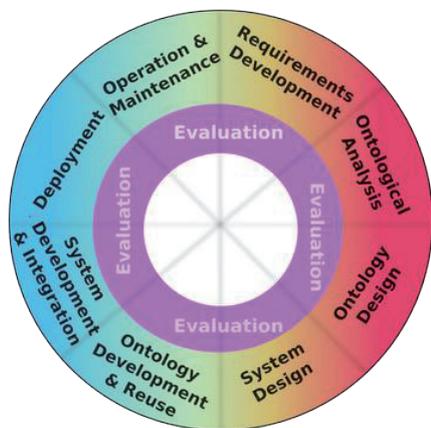


Рисунок 2 - Модель ЖЦ онтологии [16]

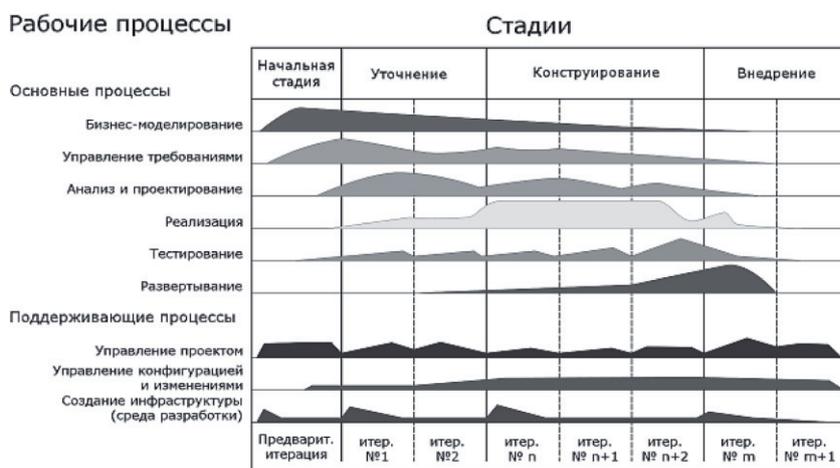


Рисунок 3 - Графическое представление процесса разработки ИС по Rational Unified Process [17]

Наиболее распространёнными моделями ЖЦ ИС являются: каскадная, спиральная, инкрементная [21]. Предпочтительной моделью ЖЦ для корпоративной сети является спиральная модель, в которой специалисты постоянно разрабатывают новую версию сети, проходя в такой работе на каждом витке спирали стандартные этапы и не дожидаясь, когда эффективность системы опустится ниже заданного порога или система не сможет удовлетворять постоянно растущим требованиям. Применение непрерывной информационной поддержки ЖЦ продукта оказывается особенно полезным для сетей средних и крупных корпораций как эффективного и автоматизированного средства реализации выбранной модели ЖЦ [17].

План разработки ПрО подробно описан в стандарте [19], где реализация процесса состоит из решения задач, в которых разработчик ПрО должен: создавать и выполнять план проектирования ПрО; выбирать формы представления, которые будут использоваться для моделей ПрО; определять процедуры получения, выработки решений и обеспечения обратной связи с менеджером активов.

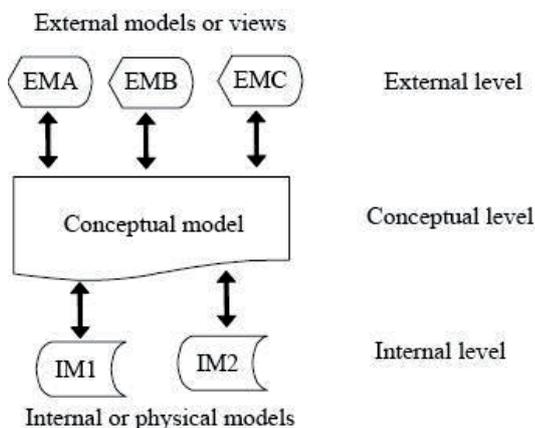
Важнейшим этапом, объединяющим разработчиков ИС и онтологов, является анализ ПрО. Он состоит из решения задач, в которых разработчик ПрО должен:

- определять границы каждой ПрО и взаимосвязи между конкретной ПрО и другими ПрО;
- идентифицировать текущие и предполагаемые потребности правообладателей программных продуктов в пределах этой ПрО;
- создавать модели ПрО, используя формы представления, выбранные в действиях процесса реализации данного процесса;
- составлять словарь, охватывающий терминологию для описания важных понятий ПрО и взаимоотношений между сходными или общими активами ПрО;
- классифицировать и документировать модели ПрО;
- оценивать модели и словарь ПрО в соответствии с условиями выбранной техники моделирования и процедурами приёма и сертификации активов организации;
- проводить анализ ревизий ПрО (разработчики программных средств, менеджеры активов, эксперты ПрО и пользователи должны принимать участие в ревизиях);
- представлять модели ПрО менеджеру активов.

Проектирование ПрО состоит из решения следующих задач.

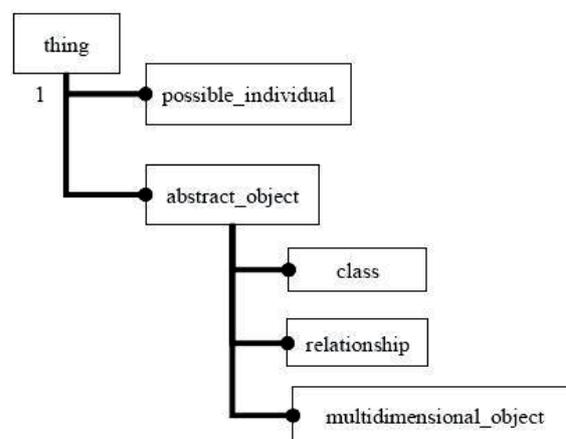
- Разработчик ПрО должен создавать и документально оформлять архитектуру ПрО, согласовывать её с моделью ПрО и следовать стандартам организации.
- Архитектура ПрО должна оцениваться в соответствии с условиями проектирования архитектуры и процедурами приёмки и сертификации активов организации.
- Для каждого выбранного объекта, предназначенного для повторного применения, разработчик ПрО должен разрабатывать и документально оформлять спецификацию активов.
- Для каждого определённого актива спецификация должна оцениваться в соответствии с процедурами приёмки и сертификации активов организации.
- Разработчик ПрО должен проводить ревизии проекта ПрО.
- Разработчик ПрО должен предоставлять архитектуру ПрО менеджеру активов.

Целью онтологического стандарта ИСО 15926 [22] является обеспечение интеграции данных для поддержания ЖЦ и процессов предприятий благодаря общей, концептуальной модели данных, являющейся его основой. Эта модель данных определяет значение информации в едином контексте с учётом мнений различных специалистов предприятия. Стандарт оперирует принятыми в онтологии понятиями, при этом сам термин не используется. Основной класс характеризуется как класс, который является общей применяемой категорией, соответствующей терминам, используемым в обычном языке. Данные определяются как представление информации в официальной манере, приемлемой для обмена информацией, интерпретации или обработки людьми или компьютерами. Информация представляет собой факты, понятия или инструкции. Концептуальная модель данных определяется тремя уровнями (см. рисунок 4). При этом структура данных представляется в форме, не зависящей от какого-либо способа физического хранения или формата внешнего представления, а концепция модели данных опирается на модель универсальной иерархии, где базовая сущность является классом, включающим всё (см. рисунок 5).



External models or views - внешние модели или представления;
 external level - внешний уровень; conceptual model - концептуальная модель;
 conceptual level - концептуальный уровень; internal level - внутренний уровень;
 internal or physical models - внутренние или физические модели

Рисунок 4 - Трёхуровневая архитектура [23]



Thing - сущность; possible_individual - возможный индивид;
 abstract_object - абстрактный объект;
 class - класс; relationship - взаимоотношение;
 multidimensional_object - многомерный объект

Рисунок 5 - Часть модели иерархии базовой сущности [23]

Интеграция данных означает объединение информации, полученной из нескольких независимых источников, в один логически последовательный набор данных. Так как независимые источники часто имеют области действия с перекрытием, объединение их данных требует обобщения ряда областей, удаления дублированной информации и представления новой информации. При этом модель данных должна иметь контекст, включающий все возможные данные, которые могут быть желательными или необходимыми [23].

Этапы ЖЦ перерабатывающих предприятий, для которых принят стандарт, включают ставшие традиционными стадии: проектирования, разработки, строительства, эксплуатации, технического обслуживания, вывода из эксплуатации и утилизации.

Подводя итог обсуждаемой теме, следует отметить признание важности онтологического анализа в ЖЦ ИС, что подтверждается не только исследованиями и научными обзорами, но и фиксацией лучших практик в международных стандартах. Можно провести аналогию с влиянием концептуального проектирования на эффективность разрабатываемого проекта, где затраты на исправление ошибок на последующих этапах ЖЦ возрастают на порядки [24].

Оценка любого продукта, изделия, услуги, оценка любого этапа деятельности – это всегда компромисс, уступка одного (одних) показателя (показателей) перед другим (другими). Не все показатели имеют количественные оценки, а лишь качественные. При этом количественные представлены разными несводимыми мерными шкалами. «Неразделимая» для социума социально-экономическая свёртка оценки эффекта условно рассмотрена отдельно.

2 Социальный эффект

Социальный или общественно значимый эффект есть совокупность многих аспектов человеческой деятельности. Что касается влияния ИС на общество, то следует признать, что ИС стали частью общественной коммуникации, взаимодействия, субъектом производственной (и не только) деятельности, частью нашей жизни. От того, насколько продуман интерфейс, качественно прописаны решаемые задачи, полна онтология ПрО, в которой «работает» ИС, зависит успех ИС в обществе, который может быть измерен. В первую очередь, выбором конкретного продукта, который потребитель определяет по совокупности атрибутов, ориентируясь на свои предпочтения и возможности. Востребованность, частота использования, базирующиеся на удобстве интерфейса, на быстром решении задач в заданной ПрО, демонстрируют социальный эффект рыночного программного продукта. Потребитель–пользователь ИС голосует «кликами» на своих «гаджетах», скачиваями и фактическим использованием в пользу того или иного приложения.

Выбор браузера, Интернет-банка, инженерных программных продуктов, различных приложений по заказу такси, еды, цветов и т.п. определяется потребительскими качествами: надёжностью работы, удобством интерфейса, ориентированного на конкретную целевую аудиторию, отсутствием навязчивой рекламы и любой др. «ненужной» пользователю информации; и напротив, активной, продуманной и уместной помощи в конкретной ситуации. Всё это формируется и является результатом онтологического анализа ПрО, который предполагает изучение не только объектов, но субъектов в ПрО, адекватное решаемым задачам атрибутирование их, включая изучение предпочтений, психологических и ментальных характеристик целевой аудитории пользователей.

Корпоративный (внутрикорпоративный) продукт или продукт госуслуг – это решения, которые приняты не непосредственно потребителями, а руководителями, которые ориентируются на своё понимание, свои интересы и свою компетенцию. Поэтому «честная» оценка таких продуктов возможна при организации оперативного учёта пожеланий реальных пользователей ИС, которые активно участвуют в совершенствовании функционала ИС. От того, насколько грамотно и заинтересованно налажена обратная связь разработчиков с пользователями ИС зависит успех и «долгая жизнь» информационного продукта.

Представляется затруднительным выделить из ЖЦ ИС ту часть влияния продукта на общество и его членов (целевую аудиторию), которая в большей степени ответственна за успех ИС. Задействованные ресурсы при создании и продвижении ИС могут быть определяющими

при «захвате» рынка. Однако эволюционно всегда лучшие решения заимствуются и в дальнейшем находят своё воплощение в последующих версиях успешных продуктов.

Что касается онтологического анализа при создании ИС, то во многом успех таких российских компаний как, например, Яндекс, Сбер, Х5, Тинькофф и др. объясняется тем, что в их структуре активно работают онтологи и психологи на этапах построения поддерживающих их деятельность ИС.

3 Экономический эффект

Актуальной теме оценке экономической эффективности ИС посвящены многочисленные научные статьи в журналах [25, 26], монографии [27, 28], труды конференций [29] и учебные пособия [30, 31].

Эффективность ИС - это комплексная характеристика ИС, отражающая степень её соответствия потребностям и интересам заказчиков, пользователей, других заинтересованных лиц [30]; с другой стороны, - это влияние информационных ресурсов на качество принимаемых решений для достижения целей организации. В узком смысле эффективность ИС - это обеспечение информационных потребностей при помощи ИС для управления предприятием с наименьшими затратами [31].

Самый большой интерес, а также самую большую трудность представляют методики, определяющие эффективность ИС. Все методы определения экономической эффективности ИС имеют определённые достоинства и недостатки. Применение лишь одного метода может привести к ошибочным управленческим решениям, из чего следует необходимость использования комплекса методов, который зависит от точки зрения на разрабатываемую ИС, параметров этой системы, выбора типового решения или проектирования уникальной системы, целей и этапа внедрения и др. [30].

Основная проблема определения эффекта – выявление связи между эффектом и деятельностью ИС, т.е. важно знать, за счёт чего получен эффект. Не меньшую сложность представляет оценка стоимости эффекта, а также соотнесение его с затратами. Самым распространённым методом оценки затрат является оценка совокупной стоимости владения, которая позволяет оценить как разовые капитальные затраты при создании ИС, так и возникающие затраты на всё ЖЦ ИС. Отсюда важный вывод о том, что подбор метода оценки и соответствующих методик расчёта экономической эффективности мероприятий по созданию и эксплуатации ИС во многом определяется особенностями ПрО, задачами, решаемыми в ПрО.

4 Примеры эффективности

В разделе приведены примеры качественных и количественных оценок потенциальных и реальных эффектов онтологического подхода, а также эффективности онтологического анализа ПрО при создании ИС.

4.1 Тезаурус как интегратор программных модулей и интерфейса в ИС

В разрабатываемом в Самарском университете «Роботе-проектанте» тезаурус ПрО используется в качестве семантической основы и интегратора всех компонент разрабатываемой ИС. Создание тезауруса, как разновидности онтологии, начинается с выделения области и определения границ ПрО. Глобальной ПрО является самолётостроение, локальной – этап предварительного проектирования самолёта. Общая терминология ПрО, включённая в тезаурус, основана на Авиационных правилах, учебниках, терминологических словарях, справочниках, энциклопедиях, научных публикациях и технических отчётах [32].

Онтологический подход к изучению и исследованию ПрО даёт возможность просмотреть всю совокупность слов, которыми может быть описана искомая тема, при этом обозревая в явном виде интересующее его семантическое окружение. Терминологическая база и методы её расширения могут изменяться как во время создания, так и во время использования тезауруса, поэтому для определения информационных материалов о ПрО учитывается актуальность источников и сценарии использования онтологии. Использование тезауруса позволяет не только получить наиболее полное описание характеристик исследуемого объекта – самолёта, но и семантически увязать все проектные операции и процедуры с базами данных и знаний в исследуемой ПрО.

Пользовательский интерфейс ИС должен содержать необходимые инструменты и типы модели, соответствующие задачам пользователя. В рамках онтологического подхода становится возможным обеспечение семантической наследуемости модулей интерфейса на основе единой онтологической модели ЖЦ изделия. Помимо задач интеграции тезаурус может использоваться как основа для реализации голосового интерфейса. Содержимое тезауруса может быть использовано в качестве ключевых слов для подпрограммы голосового взаимодействия, что в ряде случаев существенно упрощает взаимодействие с пользователем.

Онтология машиностроительного предприятия, построенная на основе тезауруса данной ПрО, является формализованным представлением исследуемого предприятия и выступает в роли семантической основы на этапе разработки ИС, предназначенной для производственного планирования. Онтология определяет выбор методов и технологий решения задач, а на этапе запуска системы в производство является связующим звеном между работниками предприятия и программным обеспечением. При разработке ИС производственного планирования базовая онтология машиностроения явилась прикладным инструментом и обеспечила разработчиков ИС полной информацией о предприятии, его структуре, протекающих в нём бизнес-процессах. Онтология, построенная на основе обработки и анализа информации, позволила не только описать исследуемую ПрО и решаемые в ней задачи и тем самым зафиксировать знания о ПрО, но и использовать эти знания при формировании шаблонов экранов, структуры баз данных, отработке сценария работы с ИС [33].

4.2 Параметризация моделей в ИС

Для систем, использующих математические модели объектов, важным является создание параметризованных моделей, позволяющих избегать повторного их построения за счёт изменения значений параметров. Это позволяет автоматически перестраивать модели при различных значениях параметров, не создавая их под иные значения. Трудоемкость построения параметризованных моделей «окупается» не только многократным их использованием, но и значительным уменьшением доли рутинного труда специалиста высокой квалификации.

В [32, 34] использован метод, позволяющий создавать геометрические модели самолёта в автоматическом режиме при помощи технологии параметрического моделирования. Любой процесс проектирования как совокупность методов анализа и синтеза включает в себя набор правил и методов. Они могут быть обобщены и реализованы программными средствами в некую свёртку метаданных, условно называемую «параметрическим шаблоном». При использовании шаблонов проектировщику требуется лишь ввести входные данные. На выходе строятся целые конструкции по заложенным в шаблоне знаниям и алгоритмам решения задач. Шаблоны дают возможность созданные однажды алгоритмы применять повторно к другим построениям, получая при этом новый результат.

При проектировании, например, элементов конструкции крыла требуются параметрические шаблоны лонжеронов, нервюр, стрингеров и обшивок, опирающиеся на базовые плоскости крыла и скелетную модель. Скелетная модель является своеобразной основой общей

модели крыла. Она является частью многоуровневой абстракции геометрической модели, состоящей из плоскостей, точек, линий, сплайнов, поверхностей и множества других геометрических элементов. При создании скелетной модели используется методика параметрических шаблонов. В процессе параметрического проектирования расположение новых или аналогичных частей может быть осуществлено путём изменения исходных данных и параметров шаблона. Геометрические характеристики конструкции крыла определяются с учётом элементов внутренней компоновки крыла, их пространственного расположения, габаритов, конструктивно-силовой схемы и т.д. [34].

Внедрение автоматических систем - это сложный и дорогостоящий процесс, иногда требующий значительных затрат времени, однако автоматизация часто возникающих типовых задач способна значительно повысить временную и экономическую эффективность работы проектанта [35]. Применение систем автоматического проектирования в некоторых областях позволяет на порядок снизить время, потребное для разработки моделей типовых деталей.

4.3 Реализация онтологической полноты в ИС

Онтологическая полнота ПрО имеет решающее значение при её реализации в ИС. В случае фрагментарной реализации онтологии ПрО в ИС неизбежны потери в эффективности использования ИС. Эти потери могут быть как прямые, так и косвенные, которые не рассматривались при создании ИС. Ярким примером может служить принятая и уже несколько лет действующая система зачисления абитуриентов в университеты России. Разработчики Единого государственного экзамена (ЕГЭ), руководствуясь благородной целью доступности высшего образования, потратили огромные средства на то, чтобы оценить качество знаний абитуриента. Много усилий было потрачено на разработку тестов, организационных мероприятий и автоматизированного инструментария с целью объективизации и автоматизации оценок знаний выпускников школ. Однако в ПрО зачисления абитуриентов в университеты России не были разработаны процедуры, связанные с оценкой личностных предпочтений и желаний абитуриентов.

С одной стороны, Заказчик (Минобрнауки) обладает сведениями об атрибутах важной сущности Университет. Известно количество государственных ВУЗов, состав факультетов и институтов в них, специальности/направления, на которые осуществляется приём студентов, и плановый набор на них, а также пороговые значения результатов ЕГЭ на эти специальности/направления в ВУЗах. Т.е. то, что «хочет» Заказчик, известно. Но, с другой стороны, что «хочет» абитуриент, каковы его приоритеты, Заказчик «узнаёт», лишь когда абитуриент подаёт документы в конкретные ВУЗы и указывает конкретные специальности/направления. Согласно Приказу Минобрауки РФ⁴ (п.21 и п.22) у абитуриента есть возможность подавать свои документы в пять ВУЗов, а количество специальностей/направлений в каждом ВУЗе может достигать 10. Т.е. один абитуриент может 50 раз заявиться в разные ВУЗы на различные специальности, потратив на это много собственных материальных и временных ресурсов и загрузив рутинной работой приёмные комиссии ВУЗов, которые вынуждены обрабатывать огромный поток документов виртуальных абитуриентов. Согласно п.46 упомянутого Приказа при подаче заявления о приёме поступающий представляет помимо заявления до 11 различных документов. Ранжирование списков поступающих и зачисление формируется каждой организацией самостоятельно (раздел XI Приказа). Важным этапом зачисления является заявление поступающего о согласии на зачисление в конкретный ВУЗ на конкретную специальность/направление.

⁴ Приказ Минобрнауки РФ №1076 от 21.08.2020. Зарегистрирован в Минюсте 14.09.2020 №59805.
<https://4ege.ru/documents/60160-porjadok-priema-v-vuzy-na-2021-2022-uchebnyj-god.html>

Чего не хватает, на взгляд автора, в этой схеме зачисления в ВУЗы, что явно избыточно с точки зрения эффективности процесса зачисления, и можно ли автоматизировать его, избежав рутины непроизводительной работы и траты ресурсов участников процесса?

Ответ лежит в онтологии ПрО: в том, что требуется выяснить приоритеты поступающего, юридически оформить его, по аналогии с ЕГЭ. Т.е. после получения результатов ЕГЭ будущий абитуриент заполняет листа приоритета абитуриента (ЛПА) (см. рисунок 6), в котором отмечает порядок своих предпочтений, осуществив ранжирование ВУЗов и специальностей, на которые он хотел бы поступить [35].

Лист приоритета абитуриентов

Код участника:

Фамилия: 

Имя: 

Отчество:

Дата рождения:

Код	Название	Код спе	Специальность	Приоритет
103	Самарский государственный архите	010900	Прикладные математика и	1
106	Самарский Государственный Эконог	022000	Экология и природо-пользэ	2
105	Самарский Государственный Унивег	030300	Психология	3
102	Поволжский государственный униве	031300	Журналистика (Журналисти	4
101	Самарский государственный аэроко	035000	Издательское дело	5
101	Самарский государственный аэроко	080100	Экономика	6
102	Поволжский государственный униве	080500	Бизнес-информатика (Элек	7
101	Самарский государственный аэроко	160700	Двигатели летательных апп	8
102	Поволжский государственный униве	200700	Фотоника и оптоинформати	9

дующий абитуриент заполняет листа приоритета абитуриента (ЛПА) (см. рисунок 6), в котором отмечает порядок своих предпочтений, осуществив ранжирование ВУЗов и специальностей, на которые он хотел бы поступить [35].

В таблице 1 представлены важнейшие атрибуты основных сущностей исследуемой ПрО в форме Потребностей и Возможностей. Это позво-

Рисунок 6 – Примерная форма заполненного ЛПА [36]

волило на основе онтологического анализа ПрО предложить алгоритм решения задачи средствами реляционной СУБД в объективно существующей мультиагентной среде. Система распределения абитуриентов по ВУЗам с учётом их желаний (ЛПА) и результатов ЕГЭ, основанная на применении мультиагентных технологий, является эффективным решением проблемы зачисления абитуриентов на сегодняшний день. Данные абитуриентов и ВУЗов накапливаются и обрабатываются в единой базе данных. В ней создаются связи ВУЗ - специальности/направления - абитуриенты. Когда все данные занесены в базу - запускается процесс матчнга. После его окончания ВУЗам остаётся сообщить абитуриентам, что они зачислены, а студентам необходимо представить в приёмные комиссии подлинники документов. Система открыта для ВУЗов и абитуриентов, доступ в систему происходит через Интернет.

Таблица 1 – Атрибуты сущностей в форме Потребностей и Возможностей

Сущность	Атрибуты	
	Потребность	Возможность
Университет	Принять Абитуриентов	Имеет Специальности
Абитуриент	Поступить на специальность Поступить в университет	Результаты ЕГЭ Приоритеты в выборе специальности Приоритеты в выборе университета
Специальность/ направление	Осуществить набор	План по набору Порог по ЕГЭ

На рисунке 7 приведена онтологическая IDEF5 схема [37], на которой показана трансформация изменения статуса сущности Абитуриент, когда каждый из них проходит «сито» отбора, и соответствие потребностей и возможностей каждой из сущностей ВУЗ-Абитуриент, когда фактически определяется удовлетворение всех условий матчнга и осуществляется приём абитуриентов в университеты на выбранные специальности/направления.

В работе [37] представлен алгоритм зачисления и отбора абитуриентов, в статье [36] - тестовый пример, подтвердивший его работоспособность. Преимущества процедуры автоматизации зачисления абитуриентов в ВУЗы на основе ЕГЭ и ЛПА очевидны. Социальный эф-

факт выражается в ликвидации рутинного и непроизводительного труда по обработке потока документов виртуальных абитуриентов приёмными комиссиями, которые могут сфокусироваться на продвижении своих университетов и специальностей. Абитуриенту нет необходимости многократно дублировать и отправлять пакеты своих документов в ВУЗы, перекладывая свои заявления о согласии с одной специальности/направления (одного ВУЗа) на другую (другого ВУЗа).

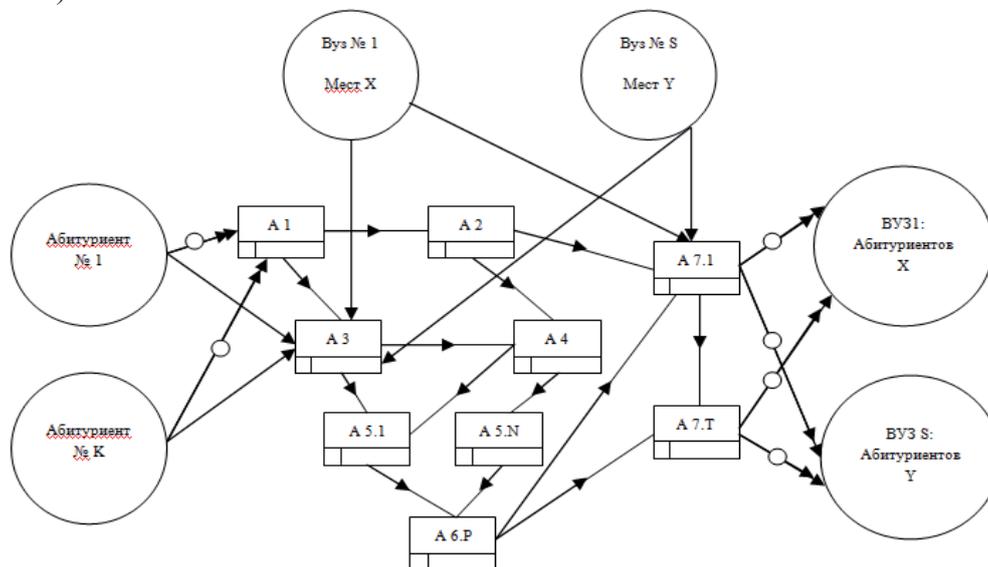


Рисунок 7 - Онтологическая IDEF5 схема изменения статуса сущности Абитуриент [37]

Если приближённо оценить непроизводительные затраты абитуриента на копирование и рассылку документов в ВУЗы по минимальной ставке в 1 тыс. рублей, то учитывая почти миллион поступающих в ВУЗы, затраты составят около 1 млрд. рублей только за один год. А за годы существования ЕГЭ - это миллиардные затраты семей абитуриентов и сопоставимая трудоёмкость работы приёмных комиссий, обрабатывающих поток «ненужных бумаг» и многократно дублированной информации ...

В 2020 году начал работать суперсервис «Поступление в вуз онлайн» — один из видов государственных услуг качественно нового уровня. Он позволит абитуриентам и их родителям пройти процесс зачисления в ВУЗ гораздо быстрее, понятнее и удобнее. Так, приезжать для подачи документов не придётся вовсе, а отслеживать своё положение в конкурсных списках разных образовательных организаций можно из личного кабинета на портале Госуслуг. Оттуда же можно подать согласие на зачисление в выбранный ВУЗ⁵.

«Дистанционный формат поступления привёл к росту количества заявлений по сравнению с приемной кампанией прошлого года и расширил возможности для граждан. Абитуриентам это *позволило сэкономить время и расходы на проезд...* Сервис оказался крайне востребованным, ведь каждый год в ВУЗы поступает *почти миллион абитуриентов...* Сервис позволяет получить сразу несколько услуг. Выбрать ВУЗы для поступления, направить заявление о зачислении и необходимые документы, узнать о датах дополнительных вступительных испытаний, отслеживать своё место в конкурсных списках и узнать о зачислении, получив уведомление от ВУЗа, а также управлять согласием на зачисление и вносить изменения в поданное заявление через личный кабинет на Госуслугах».⁶

⁵ Публичная витрина Суперсервиса «Поступление в ВУЗ онлайн». <https://postuplenie.online/>

⁶ Более 70 тысяч заявлений абитуриенты направили в университеты с помощью суперсервиса «Поступление в вуз онлайн». 2 сентября 2020 г. <http://obrnadzor.gov.ru/news/bole-70-tysyach-zayavlenij-abiturienty-napravili-v-universitety-s-pomoshhyu-superservisa-postuplenie-v-vuz-onlajn/>.

В 2021 году планируется расширить возможности суперсервиса и увеличить количество ВУЗов-участников.

Заключение

Онтологический анализ ПрО формирует основу для создания ИС. Он позволяет выявить все сущности и отношения, атрибутировать их, на семантическом уровне описать все процессы в ПрО, разобраться в их целеполагании, добиться чёткости в терминологических соглашениях в данной ПрО.

Социальный и экономический эффект ИС во многом определяется качеством онтологий, на которых построена ИС, и полнотой их реализации в ИС. Фрагментарная реализация онтологий в ИС не позволит добиться должного эффекта от работы ИС.

Благодарности

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

Список источников

- [1] IDEF5 Method Report. Information Integration for Concurrent Engineering. September 21, 1994. 175 p.
- [2] **Самойлов, Д.Е.** Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). – С. 317-339. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-317-339.
- [3] ISO/IEC 2382:2015(en) Information technology - Vocabulary. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en>.
- [4] **Кассирер, Э.** Сила метафоры / Э. Кассирер. Пер. с нем. Т.В. Топоровой // Теория метафоры. – М.: ПРОГРЕСС. 1990. – С.33-43.
- [5] **Spence, W.R.** Perez on Medicine: The Whimsical Art of Jose S. Perez / W.R. Spence, Jose S. Perez. 1st Edition. Wrs Pub; 1 edition (September 1, 1993). 63 p.
- [6] **Гладун, А.Я.** Онтологии в корпоративных системах Часть II / А.Я. Гладун, Ю.В. Рогущина // Корпоративные системы. 2006, №1. С.41-47. <http://www.management.com.ua/ims/ims116.html>.
- [7] **Faris, R.E.L.** "Sociology" / R.E.L. Faris, W. Form // Encyclopedia Britannica, 6 May. 2020, <https://www.britannica.com/topic/sociology>.
- [8] **Epstein, B.** Social Ontology / B. Epstein. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.). <https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/social-ontology/>.
- [9] **Шакирова, Е.Ю.** Социокультурное пространство: основания онтологического анализа / Е.Ю. Шакирова // Вестник СамГУ. 2014. №1 (112). С.15-19. <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnoe-prostranstvo-osnovaniya-ontologicheskogo-analiza>.
- [10] **Sarason, I.G.** Personality assessment / Irwin G. Sarason. *Encyclopedia Britannica*, 1 Oct. 2019, <https://www.britannica.com/science/personality-assessment>.
- [11] **Mykhailenko, D.H.** Economic efficiency: definition, analysis of concepts / D.H. Mykhailenko // Проблемы экономики. 2018. №2 (36). С.159-163. <https://cyberleninka.ru/article/n/economic-efficiency-definition-analysis-of-concepts>.
- [12] **Popov, D.U.** Ontological approach application in information management of social and economic systems / D.U. Popov // Вестник УГАТУ. 2013. №6 (59). С.21-27. <https://cyberleninka.ru/article/n/ontological-approach-application-in-information-management-of-social-and-economic-systems>.
- [13] **Kornienko, G.** Assessment of the economic efficiency of it application at enterprises / G. Kornienko, M. Chabanenko, Yu. Leheza // *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018, Vol.4, No.3, P.123-132. DOI: 10.30525/2256-0742/2018-4-3-123-132.

- [14] **Buder, J.** Ontological analysis of value models / J. Buder, C. Felden. ECIS 2011. Proceedings. 22. <http://aisel.aisnet.org/ecis2011/22>.
- [15] **Пригожин, А.А.** Цели и ценности. Новые методы работы с будущим / А.И. Пригожин. – М.: «Дело» АНХ, 2010. 432 с.
- [16] **Ontology Summit 2013 Communique.** Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle. http://ontolog.cim3.net/file/work/OntologySummit2013/OntologySummit2013_Communique/OntologySummit2013_Communique_v1-0-0_20130503.pdf. См. также перевод Коммюнике в журнале «Онтология проектирования», 2013, №2. С.66-74.
- [17] **Сенник, Ю.С.** Жизненный цикл информационных систем / Ю.С. Сенник, Р.И. Гребенников // Системный анализ и прикладная информатика. 2015. №2. С.4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznennyu-tsikl-informatsionnyh-sistem>.
- [18] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. Дата введения 2016-08-01. М.: Стандартинформ, 2006. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-15288-2005>.
- [19] ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. Дата введения 2012-03-01. М.: Стандартинформ, 2011. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-12207-2010>.
- [20] ГОСТ Р 56713-2015 (ISO/IEC/IEEE 15289:2011) Системная и программная инженерия. Содержание информационных продуктов процесса жизненного цикла систем и программного обеспечения (документация). Дата введения 2016-08-01. М.: Стандартинформ, 2016. <http://docs.cntd.ru/document/1200127275>.
- [21] **Петров, В.И.** Информационные системы / В. Н. Петров. – СПб.: Питер, 2002. 688 с.
- [22] ГОСТ Р ИСО 15926-1-2008 Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 1. Обзор и основополагающие принципы. Дата введения 2010-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. <http://docs.cntd.ru/document/1200076803>.
- [23] ГОСТ Р ИСО 15926-2-2010 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 2. Модель данных. Дата введения 2011-09-01. М.: Стандартинформ, 2011. <http://docs.cntd.ru/document/1200097420>.
- [24] **Комаров, В.А.** Точное проектирование / В.А. Комаров // Онтология проектирования. 2012, №3. С.8-23.
- [25] **Истомина, Е.В.** Оценка эффективности информационных систем / Е.В. Истомина // Научные труды Вольного экономического общества России. 2008. С.145-151. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-informatsionnyh-sistem>.
- [26] **Павлова, Ю.А.** Особенности оценки экономической эффективности проектов использования информационных систем на предприятии / Ю.А. Павлова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8, №4. 8 с. <http://naukovedenie.ru/PDF/23EVN416.pdf>.
- [27] **Скрипкин, К.Г.** Экономическая эффективность информационных систем в России / К.Г. Скрипкин. М.: МАКС Пресс. 2014. 156 с.
- [28] **Скрипкин, К.Г.** Экономическая эффективность информационных систем / К.Г. Скрипкин. 2-е изд. М.: ДМК-Пресс. 2018. 253 с. <https://rucont.ru/efd/703246>.
- [29] Исследования по экономике информационных систем: Материалы научно-практической конференции «Экономическая эффективность информационных бизнес-систем» / Под ред. М.И. Лугачева, К.Г. Скрипкина. – М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2015. – 248 с. <https://www.econ.msu.ru/sys/raw.php?o=26739&p=attachment>.
- [30] **Анисифоров, А.Б.** Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе / А.Б. Анисифоров, Л.О. Анисифорова. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Санкт-Петербург. 2014. 97 с. <https://elib.spbstu.ru/dl/2/3876.pdf/download/3876.pdf>.
- [31] **Крутин, Ю.В.** Эффективность информационных систем и технологий / Ю.В. Крутин. Екатеринбург. 2020. 62 с. https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/32279/1/Krutin_YuV_Effekt_sistem_tekhnology_2020.pdf.
- [32] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: на пути к реальности / Н.М. Боргест, С.А. Власов, Ал.А. Громов, Ан.А. Громов, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова // Онтология проектирования. – 2015. – Т.5, №4(18). – С.429-449. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [33] **Шустова, Д.В.** Подход к разработке семантических основ информационных систем для проектирования и производства авиационной техники / Д.В. Шустова // Онтология проектирования. – 2015. – Т.5, №1(15). С.70-84. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2015_1%2815%29%2F6_Shustova.pdf.
- [34] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: фантазии и реальность / Н.М. Боргест, Ал.А. Громов, Ан.А. Громов, Р.Х. Морено, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова, С.А. Одинцова, Ю.Е. Князихина // Онтология проектирования. 2012. №4(6). С.73-94.

- [35] **Borgest, N.** Ontological Approach Towards Semantic Data Filtering in the Interface Design Applied to the Interface Design and Dialogue Creation for the “Robot-Aircraft Designer” Informational System / N. Borgest, M. Korovin // S. Kobayashi et al. (eds.), *Hard and Soft Computing for Artificial Intelligence, Multimedia and Security*, Advances in Intelligent Systems and Computing 534, Springer International Publishing AG 2017. P.93-101. DOI 10.1007/978-3-319-48429-7_9.
- [36] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 3: автоматизация бизнес-процессов / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. – 2014. – №4 (1). – С.24-41.
- [37] **Боргест, Н.М.** Реализация онтологической мультиагентности предметной области средствами реляционной СУБД на примере зачисления абитуриентов в университеты России / Н.М. Боргест, И.А. Лысаковский // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем - Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014): материалы IV междунар. науч.-техн. конф. (20-22 февраля 2014 г., Минск, Белоруссия) – Минск: БГУИР, 2014. – С.531-536.*
-

Сведения об авторе



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

Поступила в редакцию 1.03.2021, после рецензирования 20.03.2021. Принята к публикации 25.03.2021.

Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems

N.M. Borgest

*Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia
Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Control of Complex Systems RAS, Samara, Russia*

Abstract

The concepts of social and economic effects associated with the introduction of information systems at the main stages of their life cycle are considered. When creating and implementing information systems, the importance of ontological analysis of the subject area is noted, which has a significant impact on the efficiency of the functioning of these systems. An attempt has been made to assess the effects under study. Examples of effects assessment are given, and with absence of ontologies of subject areas during the creation and operation of information systems, the assessment of losses are provided. For systems using mathematical models of objects, it is important to create parameterized models to avoid re-constructing them by changing the values. This allows automatically rebuilding models at different parameter values without creating new ones. The laboriousness of constructing parametrized models "pays off" by their repeated use and a significant reduction of routine work of highly qualified specialists. On the example of the procedure for enrolling applicants in Russian universities, estimates of unproductive economic costs, which amount to billions of rubles, and social costs are carried out. It is shown that an adequate account of all attributes of entities in an ontology makes it possible to build on its basis an information system capable of effectively solving the problem of information processing in an automatic mode.

Key words: *social effect, economic effect, ontologies, life cycle, information system.*

Citation: *Borgest NM. Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 35-50. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.*

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

List of figures

- Figure 1 - The process of researching natural intelligence (Neurologist, painting by Jose Perez [4]) as a non-verbal metaphor for building an ontology and "growing" artificial intelligence on its basis
- Figure 2 - Life cycle model of ontology [15]
- Figure 3 - Graphical representation of the IS development process according to the Rational Unified Process [16]
- Figure 4 - Three-tier architecture [22]
- Figure 5 - Part of the base entity hierarchy model [22]
- Figure 6 – An exemplary form of the completed Applicant's Priority List [34]
- Figure 7 - Ontological IDEF5 schema for changing the status of the entity "Applicant" [35]
- Table 1 - Entity attributes in the form of "Needs" and "Opportunities"

References

- [1] IDEF5 Method Report. Information Integration for Concurrent Engineering. September 21, 1994. 175 p.
- [2] **Samoilov DE, Semenova VA, Smirnov SV.** Incomplete data analysis of for building formal ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(3): 317-339. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-317-339.
- [3] ISO/IEC 2382:2015(en) Information technology - Vocabulary. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en>.
- [4] **Cassirer E.** Die Kraft der Metapher. Kapitel VI aus dem Buch: Sprache und Mythe. Leipzig-Berlin, 1925. P.68-80.
- [5] **Spence WR, Perez Jose S.** Perez on Medicine: The Whimsical Art of Jose S. Perez. 1st Edition. Wrs Pub; 1 edition (September 1, 1993). 63 p.
- [6] **Gladun AYa, Rogushina YuV.** Ontologies in corporate systems. Part II [In Russian]. *Corporate systems*. 2006; 1: 41-47. <http://www.management.com.ua/ims/ims116.html>.
- [7] **Faris REL, Form W.** Sociology. Encyclopedia Britannica, 6 May. 2020, <https://www.britannica.com/topic/sociology>.
- [8] **Epstein B.** Social Ontology. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.). <https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/social-ontology/>.
- [9] **Shakirova EYu.** Social and cultural field: the roots of ontological analysis [In Russian]. *SamSU Bulletin*. 2014; 1(112):15-19. <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnoe-prostranstvo-osnovaniya-ontologicheskogo-analiza>.
- [10] **Sarason IG.** Personality assessment. *Encyclopedia Britannica*, 1 Oct. 2019, <https://www.britannica.com/science/personality-assessment>.
- [11] **Mykhailenko DH.** Economic efficiency: definition, analysis of concepts. *Economic problems*. 2018; 2(36): 159-163. <https://cyberleninka.ru/article/n/economic-efficiency-definition-analysis-of-concepts>.
- [12] **Popov DU.** Ontological approach application in information management of social and economic systems. *Vestnik UGATU*. 2013; 6(59): 21-27. <https://cyberleninka.ru/article/n/ontological-approach-application-in-information-management-of-social-and-economic-systems>.
- [13] **Kornienko G, Chabanenko M, Leheza Yu.** Assessment of the economic efficiency of it application at enterprises. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2018; 4(3): 123-132. DOI: 10.30525/2256-0742/2018-4-3-123-132.
- [14] **Buder, Johannes and Felden, Carsten.** Ontological analysis of value models (2011). ECIS 2011 Proceedings. 22. <http://aisel.aisnet.org/ecis2011/22>
- [15] **Prigogine AA.** Goals and values. New ways of working with the future [In Russian]. Moscow: Publishing house "Delo" ANKh, 2010. 432 p.
- [16] Ontology Summit 2013 Communique. Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle. http://ontolog.cim3.net/file/work/OntologySummit2013/OntologySummit2013_Communique/OntologySummit2013_Communique_v1-0-0_20130503.pdf.
- [17] **Sennik YUS, Grebennikov RI.** Life cycle of information systems [In Russian]. *Systems Analysis and Applied Informatics*. 2015; 2: 4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznennyi-tsikl-informatsionnyh-sistem>.
- [18] GOST R ISO / IEC 15288-2005. Information technology. Systems Engineering. Systems life cycle processes [In Russian]. Moscow: Standartinform, 2006. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-15288-2005>.
- [19] GOST R ISO / IEC 12207-2010. Information technology. System and software engineering. Software life cycle processes [In Russian]. Moscow: Standartinform, 2011. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-12207-2010>.

- [20] GOST R 56713-2015 (ISO/IEC/IEEE 15289:2011) System and software engineering. Content of information products of the life cycle process of systems and software (documentation) [In Russian]. Moscow: Standartinform, 2016. <http://docs.cntd.ru/document/1200127275>.
- [21] **Petrov VI.** Information Systems [In Russian]. SPb.: Peter, 2002. 688 p.
- [22] GOST R ISO 15926-1-2008 Industrial automation systems and integration. Integration of lifecycle data for refineries, including oil and gas production plants. Part 1. Overview and underlying principles [In Russian]. Moscow: Standartinform, 2019. <http://docs.cntd.ru/document/1200076803>.
- [23] GOST R ISO 15926-2-2010 Industrial automation systems and integration. Integration of lifecycle data for refineries, including oil and gas production plants. Part 2. Data model [In Russian]. Moscow: Standartinform, 2013. <http://docs.cntd.ru/document/1200097420>.
- [24] **Komarov VA.** Concurrent design [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 3: 8-23.
- [25] **Istomina EV.** Evaluation of the effectiveness of information systems [In Russian]. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2008. P.145-151. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-informatsionnyh-sistem>.
- [26] **Pavlova YA.** Features of assessing the economic efficiency of projects for the use of information systems at the enterprise [In Russian]. *Online journal "SCIENCE"*. 2016; 8(4): 1-8. <http://naukovedenie.ru/PDF/23EVN416.pdf>.
- [27] **Skripkin KG.** Economic efficiency of information systems in Russia [In Russian]. Moscow: MAX Press. 2014. 156 p.
- [28] **Skripkin KG.** Economic efficiency of information systems [In Russian]. 2nd ed. Moscow: DMK-Press. 2018. 253 p. <https://rucont.ru/efd/703246>.
- [29] Research on the economics of information systems: Materials of the scientific-practical conference "Economic efficiency of information business systems" [In Russian]. Ed. M.I. Lugachev, K.G. Skripkin. Moscow: Faculty of Economics, Lomonosov MSU, 2015. 248 p. <https://www.econ.msu.ru/sys/raw.php?o=26739&p=attachment>.
- [30] **Anisiforov AB, Anisiforova LO.** Methods for assessing the effectiveness of information systems and information technologies in business [In Russian]. St. Petersburg State Polytechnic University. St. Petersburg. 2014. 97 p. <https://elib.spbstu.ru/dl/2/3876.pdf/download/3876.pdf>.
- [31] **Krutin YuV.** Efficiency of information systems and technologies [In Russian]. Ekaterinburg. 2020. 62 p. https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/32279/1/Krutin_YuV_Effekt_sistem_tekhnology_2020.pdf.
- [32] **Borgest NM, Vlasov SA, Gromov ALA, Gromov AnA, Korovin MD, Shustova DV.** Robot-designer: on the road to reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 429-449. – DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [33] **Shustova DV.** Approach to developing a semantic basis of information systems for aircraft systems design and production [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 70-84. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2015_1%2815%29/6_Shustova.pdf
- [34] **Borgest NM, Gromov ALA, Gromov AnA, Moreno RH, Korovin MD, Shustova DV, Odintsova SA, Knyazhina YE.** Robot-designer: fantasy and reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 4(6): 73-94.
- [35] **Borgest N, Korovin M.** Ontological Approach Towards Semantic Data Filtering in the Interface Design Applied to the Interface Design and Dialogue Creation for the “Robot-Aircraft Designer” Informational System. S. Kobayashi et al. (eds.), *Hard and Soft Computing for Artificial Intelligence, Multimedia and Security*, Advances in Intelligent Systems and Computing 534, Springer Intern. Publ. AG 2017. P.93-101. DOI 10.1007/978-3-319-48429-7_9.
- [36] **Borgest NM.** Future University: Ontological Approach. Part 3: Automation of Business Processes [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 4(1): 24-41.
- [37] **Borgest NM, Lysakovskij IA.** Implementation of the ontological multi-agent of the subject area by means of a relational DBMS on the example of enrolling applicants to universities in Russia [In Russian]. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014) Proceedings of the IV International technical conference (Minsk, 20-22 February 2014) Minsk BGYIR, 2014. P.531-536.
-

About the author

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

Received March 1, 2021. Revised March 20, 2021. Accepted March 25, 2021.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.89: 681.31

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63

Онтологическая база для обучения персонала САПР

А.А. Черепашков, А.Г. Шараухова

*Самарский государственный технический университет, Самара, Россия***Аннотация**

Обосновывается актуальность и практическая ценность применения онтологического подхода при обучении автоматизированному проектированию. Подготовка и переподготовка персонала является одним из важных этапов внедрения автоматизированных систем промышленного назначения, а средства методического обеспечения обязательно присутствуют в портфеле всех ведущих компаний-производителей систем автоматизированного проектирования (САПР). Предложены принципы и подходы формирования онтологической базы предметной области обучения автоматизированному проектированию. Для выделения структуры учебной онтологии предложено использовать понятия аспектов машиностроительного проектирования. Определена иерархия уровней подготовки пользователей САПР. На операторском уровне обучение сводится к освоению пользователями ограниченного множества терминов и понятий, реализованных в конкретных системных решениях. На уровне техника требуется освоить набор типовых проектных процедур, характерных для класса базовых технологий САПР. На инженерных уровнях пользователь приобретает знания, необходимые для освоения технологий и средств САПР в комплексе всех стадий технической подготовки производства. Описана методика онтологического анализа предметной области обучения, обеспечивающая формирование целевых траекторий подготовки и переподготовки специалистов и предусматривающая ряд последовательных этапов формирования онтологической базы. Для оптимизации индивидуальных траекторий обучения специалистов по САПР разработано специальное программное обеспечение, интегрированное с онтологическим редактором *Protégé*.

Ключевые слова: онтология, САПР, обучение, онтологический анализ, траектории обучения.

Цитирование: Черепашков, А.А. Онтологическая база для обучения персонала САПР / А.А. Черепашков, А.Г. Шараухова // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11 №1(39). – С. 51-63. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63.

Введение

Известный публицист и пропагандист эффективных приёмов труда и обучения Н. Хилл сформулировал важнейшее свойство образования человека: «Знание становится источником силы и власти только в той степени, в какой оно организовано, классифицировано и применяется на практике» [1]. С учётом реалий современной информатики можно добавить, что сведения, легко и быстро доставляемые человеку компьютерными устройствами, могут стать знанием только в процессе их систематизации и упорядочения. В обоих случаях остаётся открытым вопрос о методах и средствах превращения информации в знания и далее - в навыки их применения. Эти общие положения можно представить в качестве обоснования необходимости и актуальности применения онтологического подхода в обучении специалистов, в том числе и в области автоматизированного проектирования (АПР) [2].

Онтология в информатике представляет собой методологию формализации определённой области знаний с помощью некой концептуальной схемы. Конкретные методики и алго-

ритмы концептуализации в существенной мере определяются содержанием предметной области (ПрО), а также целями создания онтологической базы знаний (БЗ). Для использования онтологий в целях обучения людей (в отличие от машинного обучения) специфическими являются средства анализа БЗ и формирования индивидуальных и групповых целевых траекторий профессиональной подготовки специалистов.

Остро стоит проблема подготовки и переподготовки персонала человеко-машинных автоматизированных систем (АС), в т.ч. систем автоматизированного проектирования (САПР). При всём разнообразии ПрО одним из основных сдерживающих факторов успешной реализации проектов внедрения АС являются «кадровые проблемы». Все ведущие компании-производители и интеграторы средств обеспечения АС имеют богатый спектр методического обеспечения учебного назначения (МтО): практические руководства и учебники, демонстрационные материалы, сборники упражнений. Выпускаются учебные версии прикладного программного обеспечения, проводятся учебные семинары и вебинары, организуются постоянно действующие курсы, вводятся программы сертификации специалистов и т.д.

1 Состав АС в жизненном цикле изделий машиностроения

Процессы разработки и производства продукции машиностроения уже невозможно представить без использования САПР и подсистем управления инженерными данными *Product Data Management (PDM)*, которые обеспечивают информационную поддержку всех стадий технической подготовки производства (ТПП) и их интеграцию в единое информационное пространство предприятия (ЕИП) [3, 4].

К базовым технологиям САПР относится широкий спектр взаимосвязанных методов и средств промышленной автоматизации, включая подсистемы геометрического моделирования и конструирования *Computer-Aided Design (CAD)*, разработки технологических процессов *Computer-Aided Process Planning (CAPP)* и программ для цифрового технологического оборудования *Computer-Aided Manufacturing (CAM)*, инженерного анализа *Computer-Aided Engineering (CAE)*, контроля качества произведённой продукции *Computer-Aided Inspecting (CAI)* и т.д. Комплексные системы промышленной автоматизации *Product Lifecycle Management system (PLM)* строятся на принципах методологии информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции *Continuous Acquisition and Life cycle Support (CALS)* [5]. В англоязычной литературе для обозначения постоянно расширяющейся сферы влияния САПР стала использоваться аббревиатура *CAx* [5]. В *PLM* системах *CAx* технологии и подсистемы тесно переплетаются со смежными информационными составляющими. На рисунке 1 представлена обобщённая схема взаимодействия АС в ЖЦ изделий машиностроения [4].

Сложными и многозначными являются информационные и управленческие связи между подсистемами. Несмотря на существенно отличающийся от проектирующих подсистем функционал систем управления, всеми ведущими компаниями разработчиками САПР ведётся создание и внедрение модулей оперативного планирования и диспетчеризации производства в промышленных *PLM*-решениях [7]. На рисунке 1 пунктиром отмечена возможная граница *CAx*, а штрихпунктирной линией - зона наиболее активной экспансии ПрО АПР.

Процессы конструкторской и технологической подготовки автоматизированных производств содержат множество процедур, подразумевающих участие в процессах АПР специалистов, обладающих творческими качествами [8]. Для информационного описания области знаний, относящихся к САПР, требуется динамическая модель, отражающая специфику непрерывного развития ПрО АПР; динамически развивается и понятийный аппарат практического, научного и учебного аспектов САПР.

Опираясь на многолетнюю практику проведения курсов подготовки и переподготовки пользователей САПР, авторы полагают, что учебная онтологическая БЗ АПР может отличаться от промышленной ПрО в сторону её сокращения и конкретизации границ.

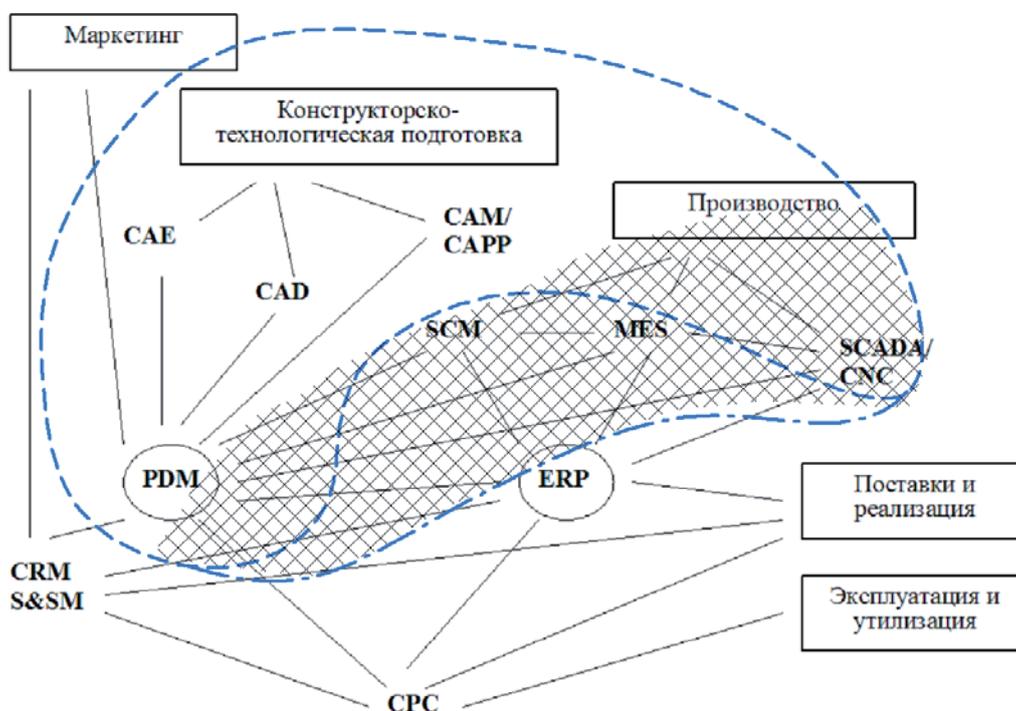


Рисунок 1 - Схема взаимодействия АС в ЖЦ изделий машиностроения

2 Онтологическая база учебной САПР

Для формирования предметно-ориентированных БЗ учебного назначения предлагается применять известные квалификационные описания, используемые для подготовки и переподготовки кадров в области АПР. Наряду с образовательными стандартами и учебными планами, учебники и методические пособия содержат в концентрированном и обобщённом виде не только прошедшие предварительный экспертный отбор данные из ПрО, но и системы правил и отношений, связывающих их. Совокупность прошедшей опытную апробацию специализированной методической литературы можно рассматривать как первичную учебную онтологию САПР.

В отличие от научных статей и монографий для учебной онтологии должны быть выбраны первоисточники, достаточно полно раскрывающее содержание ПрО. В дальнейшем процессе концептуализации первичная онтология уточняется и конкретизируется. Для этого целесообразно использовать формализованные (уже в повышенной степени по сравнению с традиционными учебными материалами) нормативные технические регламенты и стандарты, применяемые в промышленности. Главным недостатком использования официальных регламентирующих документов является их быстрое устаревание. Актуальными, но менее точными и упорядоченными с онтологической точки зрения, представляются научные, практико-ориентированные публикации в периодических изданиях, включая сайты компаний разработчиков и публикации в Интернете.

Можно отметить следующие противоречия и концептуальные проблемы создания учебной ПрО АПР. В ПрО АПР часто появляются и активно используются термины, не имеющие закреплённого в стандартах (официального) статуса. Например, ставший почти общеприня-

тым один из базовых терминов *CAD* «моделлер» пока не попал даже в орфографические словари в текстовых редакторах системного окружения САПР. Многие термины и понятия, используемые практикующими специалистами по САПР, ведут происхождение от названий пунктов меню и экранных кнопок, используемых в прикладном программном обеспечении САПР, которые весьма часто и неформально редактируются программистами. Например, в популярной отечественной *CAD*-системе КОМПАС одна из базовых функций 3D-моделирования из «Кинематической» в новой версии превратилась в операцию «Потраектории», поменялись наименования сплайнов и др.

В профессиональных описаниях, составленных специалистами по АС, активно используются англоязычные слова, заменяя национальные термины. При этом зачастую меняются понятийные связи и появляются совершенно новые. Например, относительно новый термин – «рендеринг» (англ. *rendering* — трансляция, отрисовка и пр.) не вытеснил полностью отечественное понятие компьютерной графики «визуализация», а приобрёл узкое смысловое наполнение, обозначающее процесс получения изображения на определённом техническом устройстве по имеющейся геометрической модели с помощью компьютерной программы.

Справочники и словари с существенной разницей трактуют уже устоявшиеся термины и определения. Например, термином *CAD* дословно переводимым как «компьютерно-поддержанное проектирование», заменяют более известную в России аббревиатуру САПР, но понятийно это не является достоверным. По действующему стандарту САПР - это: «Организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации ...» [9]. А специалистами по САПР аббревиатура *CAD* расшифровывается не дословно, а сообразно с современным функциональным назначением - как «подсистемы и технологии автоматизации конструирования и оформления проектной документации». Данное определение в свою очередь опирается на терминологический аппарат, представленный различным образом в информационных источниках.

В учебных БЗ предложено использовать многоступенчатую экспертизу при формировании первичной понятийно-терминологической учебной базы Про АПР. В этом случае рассматривается несколько трактовок с градацией приближения к предполагаемому «идеалу». Например, можно составить следующие выборки в процессе понятийного определения терминов, поэтапно приближающиеся к семантике АПР как специфической области обучения проектной деятельности:

- *проектирование* — «процесс создания проекта прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, ...» [9];
- *проектирование* — «процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или её части» [10];
- *проектирование* — это «процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях ещё несуществующего объекта путём преобразования первичного описания этого объекта, и (или) алгоритма его функционирования...» [9].

Или:

- *конструирование* — «вид инженерной работы, которая осуществляется в различных областях человеческой деятельности...» [9];
- *конструирование* — «процесс разработки конструкторской документации» [12];
- *конструирование* – «стадия конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), выполняемая при помощи *CAD*-системы, в ходе которой создаются 3D-модели всех оригинальных деталей и их 2D-проекция (чертежи) ...» [13].

Продуктивным представляется использование для формирования учебной Про АПР понятий аспектов, которое используется в машиностроительном проектировании. При этом аспект отражает профессионально-технические особенности общего описания объектов с не-

которой предметной или профессиональной точки зрения. Основными аспектами объектов и технологий машиностроения являются следующие.

Функциональный аспект, который описывает служебное назначение и принципы действия машин и механизмов. Выделяется функциональное проектирование, а также методы и средства автоматизации, поддерживающие функциональное моделирование и концептуальное проектирование в среде САПР. Сюда относятся хорошо отработанные и известные САЕ-технологии и системы. Тенденции развития САПР предполагают применение здесь технологий искусственного интеллекта и других информационных новшеств, например, параметрической и топологической оптимизации.

Конструкторский аспект обеспечивает уточнение и расширение описаний изделий, полученных в результате функционального проектирования. Конструкторское описание изделий машиностроения представляется в форме, утвержденной действующими стандартами единой системы конструкторской документации [14], существенно переработанной в последние годы под влиянием методологии АПР. Выделяется конструкторское проектирование (конструирование), а также технологии и средства автоматизации конструирования.

Технологический аспект включает понятийно-терминологический аппарат ранних этапов проектирования (используемый технологами при проектировании оснастки и инструментов), а также инженерно-технологические решения, необходимые для изготовления спроектированных изделий. Основными тенденциями автоматизированного технологического проектирования (САПР-ТП) выступают применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ, *CNC - computer numerical control*), мехатронных устройств. В онтологии обучения АПР необходимо выделить САПР-ТП, САМ-технологии, а в перспективе и «управленческие» подсистемы АСУТП (*SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition*) и др.

В зависимости от решаемых проектировщиками задач и специфики производственных отраслей в общем описании могут быть представлены и другие аспекты. Для представления состава изделия в электронных технических архивах, библиотеках и БД САПР следует выделить **информационный аспект**.

Организационный аспект потребуется для описания деятельности проектного персонала в единой информационной среде, а также в специфических средах виртуальных предприятий, развивающихся в соответствии с методологией *CALS*.

С точки зрения обучения АПР необходимо включить **учебно-методический аспект описания**.

Таким образом, онтологическая модель обучения АПР в машиностроении должна включать как необходимые компоненты следующие аспекты АПР.

$$OAP^{Lr} = \{ OAP^{SF} \cup OAP^{SK} \cup OAP^{ST} \cup OAP^{SI} \cup OAP^{SO} \cup OAP^{SM} \}, \quad (1)$$

где OAP^{SF} – функциональные аспекты; OAP^{SK} – конструкторские аспекты;

OAP^{ST} – технологические аспекты; OAP^{SI} – информационные аспекты;

OAP^{SO} – организационные аспекты; OAP^{SM} – методические аспекты.

Иерархическую структуру уровней машиностроительного проектирования можно представить в виде древовидного графа (рисунок 2).

Целостный по своим целям (создание новой техники) процесс ТПП изделий машиностроения (*PM*) формально можно разбить на три уровня.

- На первом сверху уровне выделяется множество стадий (*PMS*), заданных системой стандартов машиностроения.
- На втором уровне размещаются проектные процедуры (*PMP*), определённые спецификой служебного назначения и конструкцией изделий.

- На третьем уровне целесообразно расположить проектные операции (*PMO*), в том числе предусмотренные технологий изготовления и особенностями технологического оборудования и производственного инструментария.

Первые два базовых, регламентированных стандартами уровня ТПП, являются счётными, как и их онтология. Так, может быть выделено онтологическое ядро учебной онтологии САПР.

Мощность используемых в машиностроении множеств проектных процедур и операций в общем случае не поддаётся исчислению. В учебной версии они могут быть существенно сокращены. Для решения задачи разработки учебной САПР необходимо выделить важные для достижения поставленных учебных целей автоматизированные проектные процедуры, конструкторские, технологические и производственные операции и переходы между ними.

По аналогии с иерархическими уровнями ТПП можно выделить определённую иерархию уровней подготовки пользователей САПР (таблица 1).

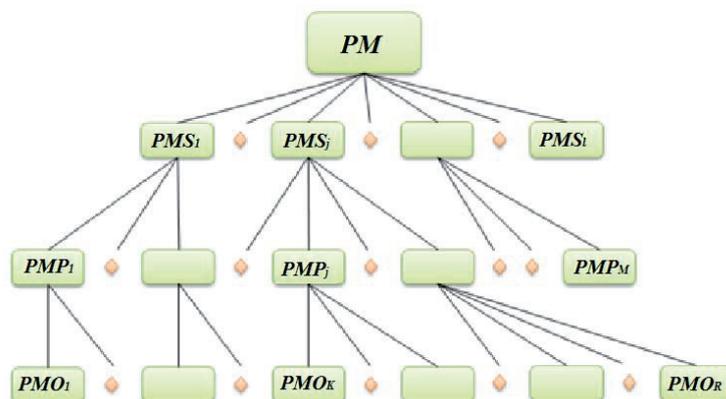


Рисунок 2 – Иерархическая модель уровней процессов АПР

Таблица 1 - Соответствие иерархии моделей АПР и обучения АПР

№	Разделы учебной ПрО АПР	Уровни обучения персонала САПР (Показатели уровня)
1	Автоматизированный комплексный процесс проектирования: $OAP=\{OAPS, OAPP, OAPO\}$	Комплексный инженерный (знания, умения, навыки АПР в интегрированной информационной среде)
2	Автоматизированные проектные стадии: $OAPS=\{aps_i i=1...L\}$	Локальный инженерный (объектно-ориентированные знания, умения, навыки АПР на отдельных стадиях)
3	Автоматизированные проектные процедуры: $OAPP=\{app_j j=1...M\}$	Операторские уровни - операторский специальный, или <i>уровень техника</i> (навыки владения типовыми процедурами и операциями); - операторский начальный, или <i>уровень оператора</i> (умения и навыки АПР в среде конкретной системы)
4	Автоматизированные проектные операции: $OAPO=\{apo_k k=1...R\}$	

На первичном уровне обучения «*операторский начальный*» обучение АПР сводится к освоению пользователями ограниченного множества терминов и понятий, реализованных в конкретных системных решениях. Выделяемый для освоения пользователем объём операций ограничен условиями локального рабочего места или отдельной технологии САХ.

На «*операторском специальном*» (уровень специалиста-техника) – требуется освоить более широкий набор типовых проектных процедур (операций), характерных для целого класса базовых технологий САПР.

Навыки операторской деятельности в среде САПР, полученные на данном уровне, должны быть инвариантны по отношению к различным системным решениям и конкретике используемых программно-технических средств. Обучение САПР на операторском уровне, как правило, ограничивается освоением одного или нескольких программных модулей.

На «*локальном инженерном*» уровне наряду с универсальными навыками владения типовыми проектными операциями пользователь приобретает объектно-ориентированные

знания, умения и навыки из области частных методик и средств обеспечения САПР, необходимые для освоения технологий и средств АПР изделий машиностроения на отдельной стадии проектных работ или автоматизированном рабочем месте.

Уровень «инженерный комплексный» характеризуется широтой кругозора специалиста в предметной и компьютерной областях, а также развитыми умениями и навыками работы в интегрированной информационной среде. На этом уровне пользователю необходимо знание не только комплекса частных методик АПР, но и общей методологии АПР, владение комплексом САх-технологий. Такой уровень подготовки проектного персонала предполагает наличие знаний, умений и навыков АПР в интегрированной САПР на всех стадиях проектных работ.

Из анализа приведённых моделей следует, что для освоения локальных технологий низкого уровня требуется создание специализированных онтологий, а для информационной поддержки формирования инженерных компетенций необходимо опираться на инвариантное ядро общей онтологии САПР.

3 Формирование учебной онтологической базы АПР

Разработка учебной онтологической базы АПР предполагает ряд последовательных этапов формирования:

- 1) базового ядра онтологии, отличающегося высокой универсальностью и стабильностью выделенного понятийно-терминологического аппарата ПрО АПР в машиностроении;
- 2) набора расширений базовой онтологии, обеспечивающих целенаправленное развитие обучаемых в течение учебного процесса по профессиональному уровню;
- 3) итоговой онтологии, используемой для промежуточных и итоговых оценок достигнутого уровня профессиональных компетенций персонала САПР.

Онтологический редактор *Protégé* [15] выбран для реализации экспериментальной части работы. Функционал *Protégé* достаточен для отработки связей между экземплярами метаонтологии или её небольшого участка с раскрытием компетенций, заложенных в экземпляры, но формирование и анализ онтологии производится практически вручную.

Для проверки полноты и валидности сформированных онтологических моделей, а также проведения онтоанализа, был разработан специализированный программный продукт - подсистема *DialogApp* [16] (рисунок 3), написанная на языке *Python* [17].

На рисунках 4 и 5 приведены фрагменты онтологических структурных схем учебной ПрО САПР обучения АПР.

Авторский программный модуль позволяет автоматизировать решение задачи выявления и оптимизации индивидуальной и/или целевой (для групп) траектории обучения специалиста по САПР в соответствии с определёнными целевыми установками. Для выявления рациональных учебных траекторий использован алгоритм решения задачи коммивояжёра, имеющий целью отыскание кратчайшего пути из одной точки в другую по методу Дейкстры [18].

Вариативный модуль позволяет выбрать два режима оптимизации целевой траектории:

- «MINIMUM», который формирует кратчайший путь для минимизации продолжительности пути освоения всей ПрО САПР.

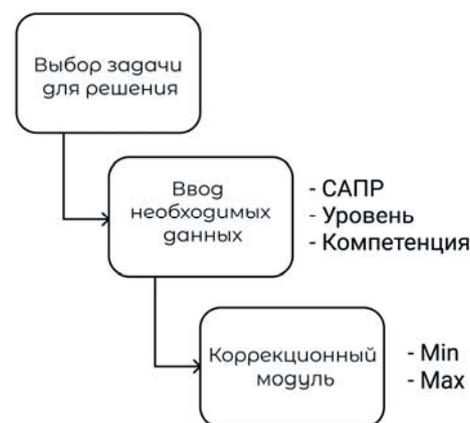


Рисунок 3 – Структура модульной системы программы *DialogApp*

- «MAXIMUM», реализующий поэтапный процесс обучения, позволяющий охватить определённый набор сущностей Про, необходимых для достижения определённых квалификационных требований.

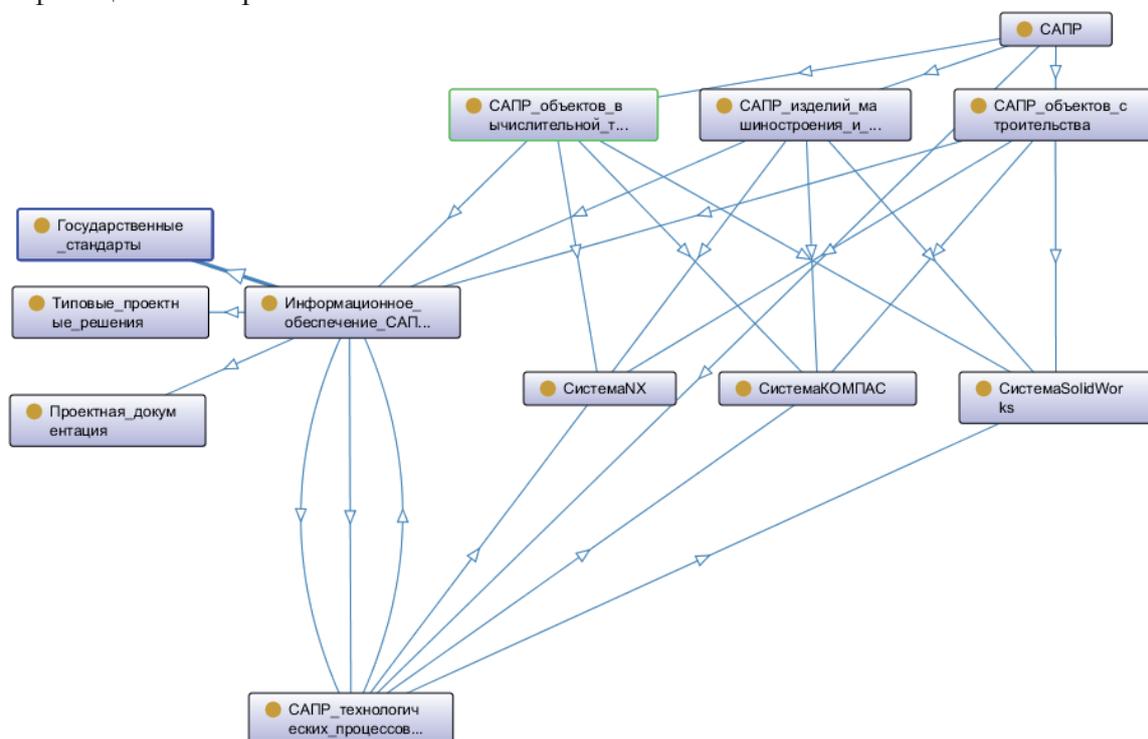


Рисунок 4 – Онтологическая схема учебной Про САПР верхнего уровня

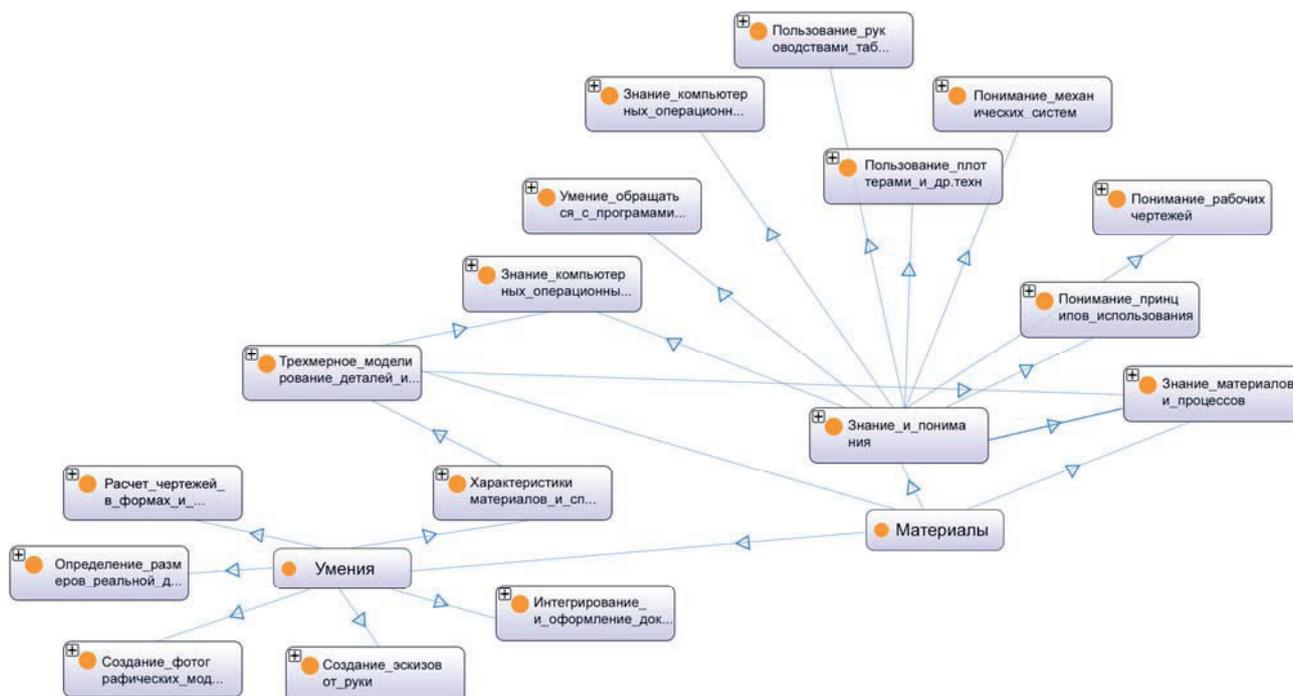


Рисунок 5 – Фрагмент возможного расширения онтологической базы с учётом уровней обучения

Для решения первой задачи необходимо последовательно изучить все необходимые сущности в рамках выделенной Про. В общем случае возможно множество путей освоения

ПрО. Чем более развитой является онтологическая БЗ, тем больше возможных траекторий обучения. Обучаемому необходимо последовательно обойти все сущности и, желательно, по кратчайшему пути. Сначала должны быть освоены базовые понятия и только затем вытекающие из них знания.

Для иллюстрации результатов работы алгоритма *DialogApp* приведён тестовый вариант траектории обучения базовым технологиям геометрического моделирования в САПР. Последовательность освоения укрупнённых дидактических единиц обучения (аспектов) и соответствующие им примеры приведены в таблице 2 (фрагментарно).

Таблица 2 – Целевая траектория (фрагменты) освоения ПрО САПР

№	Укрупнённые дидактические единицы (аспекты)	Типовые примеры дидактических единиц (сущности)	Трудоёмкость [уч. час]
1	2D -моделирование	2D1У – геометрические примитивы. 2D2У – привязки. ...	32
2	3D – твёрдотельное моделирование	3D1У – эскизы твёрдотельных операций. 3D2У – твёрдотельные операции. ...	16
3	3D – поверхностное моделирование	3D35У – эскизы поверхностных операций. 3D36У – поверхностные операции.	32
4	Сборки	3D41У – сопряжения. 3D42У – создание детали в контексте сборки. ...	16
5	Кинематика	3D51У – сопряжения. 3D52У – создание детали в контексте сборки. ...	8
6	Рендеринг	3D61У – источники освещения. 3D62У – фактура поверхности.	4
Итого			108

Целевая учебная онтология АПР формируется с использованием функций *Protégé*. Примеры поэтапного расширения онтологических структурных схем показаны на рисунках 5–7.

Граф онтологии ПрО обучения САПР приведён на рисунке 6. Тестовая БЗ включает шесть аспектов, состоящих из 94 основных сущностей, которые связаны отношениями. Прогнозируемая трудоёмкость освоения учебного материала может быть определена на основании рабочих программ курсов, предлагаемых в учебных центрах.

При обучении решению в среде САПР частных проектно-конструкторских задач траектория может быть оптимизирована за счёт сокращения учебного материала (рисунок 7).

В эксперименте был взят набор сущностей, который необходим для освоения навыков 3D моделирования на третьем уровне подготовки специалиста по САПР объектов машиностроения. В процессе оптимизации было выделено три аспекта, включающих 10 основных сущностей. Данная траектория позволила сократить трудоёмкость обучения более чем на 30% по сравнению с полноформатным вариантом курса.

Заключение

Предложено использовать онтологический подход к формированию БЗ МтО и целевых траекторий обучения персонала САПР. Сформирована онтологическая БЗ обучения АПР.

Проведён онтологический анализ обучения АПР в машиностроении, позволяющий формирование траекторий целевого или индивидуального обучения.

Для автоматизации построения и оптимизации траекторий индивидуального обучения специалистов по САПР разработано специальное программное обеспечение, интегрированное с онтологическим редактором *Protégé*.

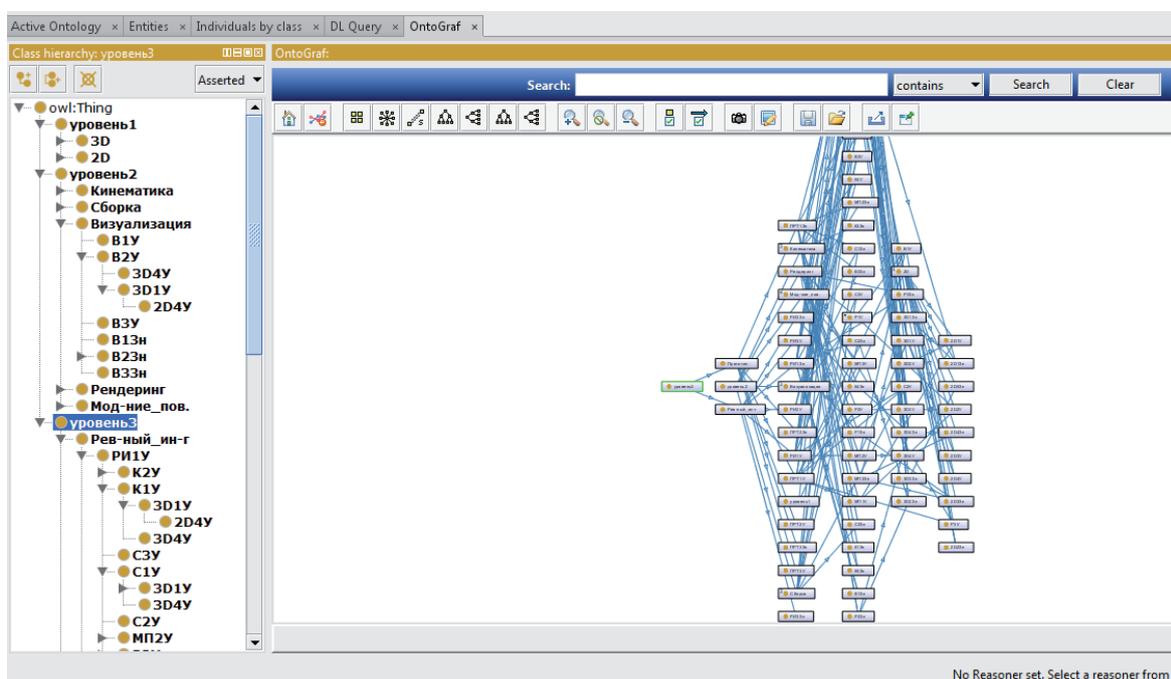


Рисунок 6 – Граф онтологии ПрО обучения САПР

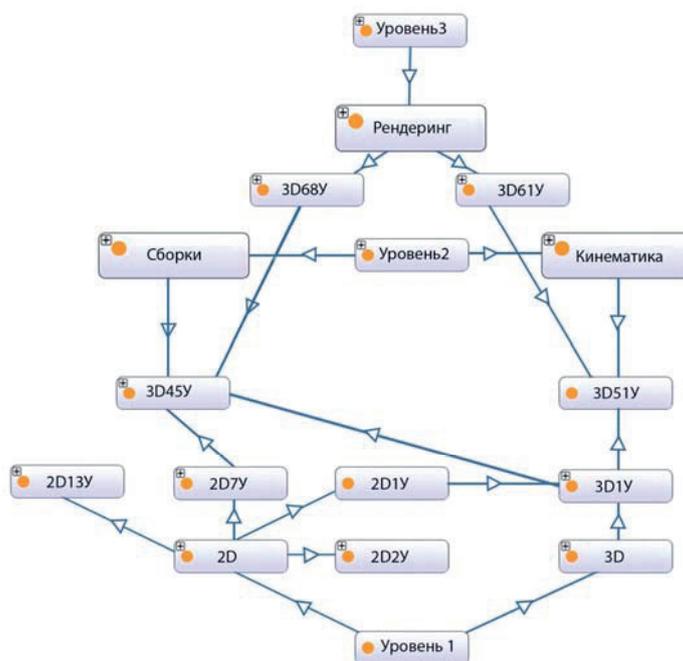


Рисунок 7 - Минимизированная ПрО для обучения САПР на третьем уровне обучения

Благодарности

Разработка была поддержана грантом Фонда В. Потанина (2019-2020 гг).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Хилл, Н. Думай и процветай / Н. Хилл; [пер. с англ. С.М. Богданова]. Москва: Эксмо, 2001. – 240 с.
- [2] *Cherepashkov, A.A.* Ontological Approach to Training Personnel for Complex Automated Industrial Systems / A.A. Cherepashkov, A.G. Sharaukhova // XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Russia, Samara, 2019. P.104-107. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976822.
- [3] Электронная энциклопедия PLM. <http://plmpedia.ru/>.
- [4] *Черепашков, А.А.* Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. Санкт-Петербург: Проспект науки, 2018. 592 с.
- [5] *Колчин, А.Ф.* Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.В. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
- [6] *Dankwort, C.W.* Engineers' CAx education – it's not only CAD / C.W. Dankwort, R. Weidlich, B. Guenther et al. / Computer-Aided Design, No36, 2004. P.1439–1450.
- [7] *Самойлов, П.А.* ИТ для планирования производства в российских реалиях: отраслевой опыт / П.А. Самойлов. Isicad: Российский информационно-аналитический портал, 12 марта 2019. http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20382.
- [8] *Шараухова, А.Г.* Виртуальное учебно-научное предприятие в системе инженерного образования в машиностроении / А.Г. Шараухова, А.А. Черепашков, Н.В. Носов, Е.А. Якубович // Машиностроение: инновационные аспекты развития. Санкт-Петербург, 2019. 6 с.
- [9] ГОСТ 22487-77 Проектирование автоматизированное: термины и определения: изд. офиц. введ. 01.07.1978. Москва: Издательство стандартов, 1978. – 14 с.
- [10] Большая Советская энциклопедия. <http://bse.sci-lib.com/>.
- [11] ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering - Vocabulary ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Разработка программного обеспечения и системотехника. Словарь. 418 с.
- [12] РД 09-167-97. Методические указания по организации и осуществлению надзора за конструированием и изготовлением оборудования для опасных производственных объектов в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Введены 01.02.98. <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/4JC.html/>.
- [13] Р 50.1.031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции: изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 2001. 27 с.
- [14] ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения. Введение 2014-06-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200106859>.
- [15] Protégé. <http://protege.stanford.edu>.
- [16] Свидетельство № 2020664999 Российской Федерация. «DialogApp»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.Г. Шараухова, А.А. Черепашков; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО СамГТУ (RU). Зарегистрировано ФС РФ по интеллектуальной собственности 20.11.2020.
- [17] *Beazley, D.* Python: Essential Reference / David Beazley, Guido Van Rossum // New Riders Publishing, 1999.
- [18] *Dijkstra, E.W.* A note on two problems in connexion with graphs / E.W. Dijkstra // Numerische Mathematik, 1959. Vol. 1, Iss. 1. P.269-271. DOI:10.1007/BF01386390.

Сведения об авторах



Черепашков Андрей Александрович, 1959 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1982 г., д.т.н. (2014). Заведующий кафедрой «Инженерная графика» Самарского государственного технического университета. В списке научных трудов более 100 работ в области САПР, в т.ч. учебник «Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении». Author ID (РИНЦ): 472164; ORCID: 0000-0001-9945-3859, Scopus ID: 57203862254, ResearcherID (WoS): E-2369-2014. eg@samgtu.ru.



Шараухова Анастасия Григорьевна, 1992 г. рождения. Окончила Самарский государственный технический университет (бакалавриат 2013, магистратура 2015, аспирантура 2020). Научные интересы в области САПР. Author ID (РИНЦ): 1100770, ORCID: 0000-0003-0357-5128. anshag13@yandex.ru.

Поступила в редакцию 30.11.2020, после рецензирования 20.03.2021. Принята к публикации 25.03.2021.

The Ontological basis for teaching CAD staff

A.A. Cherepashkov, A.G. Sharaukhova

Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract

The urgency and significance of the application of the ontological approach in teaching computer-aided design is substantiated. Training and retraining of personnel is one of the important stages in the implementation of automated systems for industrial purposes, and methodological support tools are necessarily present in the portfolio of all leading manufacturers of computer-aided design systems (CAD). Principles and approaches to the formation of the ontological base of the subject area of teaching computer-aided design are proposed. To highlight the structure of educational ontology, it is proposed to use the concepts of aspects of mechanical engineering design. The hierarchy of levels of training for CAD users is determined. At the operator level, training comes down to mastering a limited set of terms and concepts implemented in specific system solutions. At the technician level, it is required to master a wider set of standard design procedures typical for a whole class of basic CAD technologies. At the engineering levels, the user acquires the knowledge necessary to master the technologies and CAD tools in the complex of all stages of technical preparation of production. The article describes the method of ontological analysis of the studied subject area, which ensures the formation of target trajectories for training and retraining specialists, providing for a number of sequential stages in the formation of an ontological base. The article describes the method of ontological analysis of the subject area of education, which ensures the formation of target trajectories of training and retraining of specialists and provides for a number of successive stages of the formation of an ontological base. To optimize the individual trajectories of training CAD specialists, special software has been developed, integrated with the Protégé ontological editor.

Key words: *ontology, knowledge base, CAD, onto analysis, training*

Citation: *Cherepashkov AA, Sharaukhova AG. The Ontological basis for teaching CAD staff [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(1): 51-63. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-51-63.*

Acknowledgment: *The development was supported by a grant from the V. Potanin Foundation (2019-2020).*

List of figures and table

- Figure 1 - The scheme of interaction of automated systems in the life cycle of mechanical engineering products
- Figure 2 - Hierarchical level model of CAD processes
- Figure 3 - The structure of the modular system of the DialogApp program
- Figure 4 - Ontological schema of the educational subject area of the top-level CAD system
- Figure 5 - Fragment of a possible expansion of the ontological base, taking into account the levels of education
- Figure 6 - CAD learning domain ontology graph
- Figure 7 - Minimized subject area for CAD training at the third level of learning
- Table 1 - Correspondence between the hierarchy of CAD models and CAD training
- Table 2 - Target trajectory (fragments) of studying the CAD subject area

References

- [1] **Hill N.** Think and grow rich [In Russian]. Trans. from English S.M. Bogdanov. Moscow: Eksmo, 2001. 240 p.
- [2] **Cherepashkov AA, Sharaukhova AG.** Ontological Approach to Training Personnel for Complex Automated Industrial Systems. XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Russia, Samara, 2019. P.104-107. DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976822.
- [3] PLM: an electronic encyclopedia. <http://plmpedia.ru/>.
- [4] **Cherepashkov AA, Nosov NV.** Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering [In Russian]. St. Petersburg: Prospect of Science, 2018. 592 p.
- [5] **Kolchin AF, Ovsyannikov MV, Strekalov AV, Sumarokov SV.** Product lifecycle management [In Russian]. Moscow: Anacharsis, 2002. 304 p.

- [6] **Dankwort CW, Weidlich R, Guenther B. et al.** Engineers 'CAx education - it's not only CAD. *Computer-Aided Design*, 2004; 36: 1439-1450.
- [7] **Samoilov PA.** IT for production planning in Russian realities: industry experience [In Russian]. Isicad: Russian information and analytical portal. Novosibirsk: LEDAS Group of Companies, 2019. http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20382/.
- [8] **Sharaukhova AG, Cherepashkov AA, Nosov NV, Yakubovich EA.** Virtual educational and scientific enterprise in the system of engineering education in mechanical engineering [In Russian]. *Mechanical engineering: innovative aspects of development*. Saint Petersburg, 2019.
- [9] GOST 22487-77 Automated design: terms and definitions [In Russian]. 07/01/1978 Moscow: Publishing house of standards, 1978 14 p.
- [10] Great Soviet Encyclopedia [In Russian]. <https://bse.slovaronline.com/>
- [11] ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering - Vocabulary ISO/IEC/IEEE 24765:2010. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
- [12] RD 09-167-97 Guidelines for the organization and implementation of supervision over the design and manufacture of equipment for hazardous production facilities in the chemical, petrochemical and oil refining industries [In Russian]. 01.02.98. <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/4JC.html/>.
- [13] R 50.1.031-2001. Information technology to support the life cycle of products. Terminological dictionary [In Russian]. Part 1. Stages of the product life cycle. Moscow: Standards Publishing House, 2001. 27 p.
- [14] GOST 2.001-2013. Unified system for design documentation. General principles [In Russian]. 2014-06-01. Moscow: Standartinform, 2018. <http://docs.cntd.ru/document/1200106859>.
- [15] Protégé. <http://protege.stanford.edu>.
- [16] Certificate No. 2020664999 Russian Federation. "DialogApp": certificate of state registration of a computer program [In Russian]. A.G. Sharaukhova, A.A. Cherepashkov; applicant and copyright holder SamSTU (RU). Registered by the Federal Assembly of the Russian Federation for Intellectual Property on November 20, 2020.
- [17] **Beazley D, Rossum G.** Python: Essential Reference. New Riders Publishing, 1999.
- [18] **Dijkstra EW.** A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*. 1959; 1(1): 269-271. DOI:10.1007/BF01386390.

About the authors

Andrei Aleksandrovich Cherepashkov (b. 1959) graduated from the Korolyov aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1982. DScTech. (2014). The Head of the department of Engineering Graphics at the Samara state technical university. He is a co-author of about 100 scientific articles and abstracts in the field of CAD. The author of the university textbook "Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering". Author ID (РИИЦ): 472164; ORCID: 0000-0001-9945-3859, Scopus ID: 57203862254, ResearcherID (WoS): E-2369-2014. eg@samgtu.ru.

Anastasia Grigorievna Sharaukhova, (b. 1992) graduated from the Samara State Technical University with bachelor's degree (2013), master's degree (2015), postgraduate study (2020). Scientific works in the field of CAD. Author ID (RSCI): 1100770, ORCID: 0000-0003-0357-5128. anshag13@yandex.ru.

Received November 30, 2020. Revised March 20, 2021. Accepted March 25, 2021.

Построение СППР на основе онтологии молочного производства

С.С. Акимов, И.П. Болодурина

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Федеральный научный центр биосистем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия

Аннотация

Цель работы – построение и реализация системы поддержки принятия решений (СППР) в молочном производстве на основе формализованных математических моделей и онтологического подхода. Проведена декомпозиция процесса производства молочной продукции, выделены основные влияющие на него факторы, а также взаимосвязи между ними. Сформирована онтология предметной области, которая представлена в виде концептуальной схемы и иерархии классов. Для описания последовательности влияния факторов и выявления управляющих воздействий разработана схема Исикавы для производства молочной продукции. Предложено формализованное описание эффективности процесса молочного производства. Разработана СППР для производства молочной продукции, включающая учёт факторов, связанных с сортом и видом кормовых растений, способами и методами высева семян, предпосевной подготовкой, классом и типом почв, агроклиматическими показателями, внесением удобрений, классом животных и кормовыми добавками.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, молочное производство, декомпозиция, онтология, схема Исикавы, формализация.

Цитирование: Акимов, С.С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С.С. Акимов, И.П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(29). – С. 64-75. – DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-1-64-75.

Введение

Постоянный рост потребления молока и молочных продуктов диктует требования к интенсивному развитию молочного производства. Деятельность животноводческого хозяйства можно рассматривать как производственную функцию, максимизация которой является его основной целью. Для достижения данной цели следует организовать эффективное управление деятельностью животноводческих хозяйств с учётом ключевых факторов, оказывающих непосредственное влияние на продуктивность отрасли. Под продуктивностью понимается производство молока в абсолютных показателях, которое имеет прямую зависимость от показателей кормовой базы и общего состояния животных.

Задача управления деятельностью хозяйства в молочном производстве включает в себя разнородные и разноформатные данные, описание которых возможно с применением онтологического инжиниринга. Обработка и анализ таких данных могут быть осуществлены при помощи современных интеллектуальных технологий, объединённых в систему поддержки принятия решений (СППР).

Цель работы – построение и реализация СППР в молочном производстве на основе формализованных математических моделей и онтологического подхода.

1 Состояние и перспективы предметной области

В последние годы в России отмечается рост агропромышленного производства. Это связано с целым рядом факторов, имеющими под собой экономические, политические и даже

глобальные климатические причины [1-4]. Согласно Доктрине продовольственной безопасности [5], нижняя граница молочного производства внутри страны должно составлять не менее чем 90%, тогда как этот показатель составляет около 80%.

Аналитический центр СОЮЗМОЛОКО выделяет такие проблемы, как низкая инвестиционная привлекательность данной отрасли, низкая продуктивность и товарность производства молока [6]. Отмечается также снижение посевных площадей под кормовые культуры, несмотря на то, что Министерство сельского хозяйства прогнозировало их рост [7]. Вместе с тем молочное производство в России имеет весомый потенциал для наращивания объёмов производства [8].

Для увеличения эффективности сельского хозяйства необходимо использование возможностей современной цифровой экономики, что предполагает внедрение новых информационных технологий и освоение инновационных решений [9].

В настоящее время наиболее перспективной разработкой представляется система «умного сельского хозяйства» на основе комплексности используемых решений [10], включающей такие методы, как дистанционный сбор данных с полей [11], средства дистанционного зондирования земли [12], технологии точного земледелия [13].

Большинство решений для сельского хозяйства лежит в области растениеводства [14]. В части применения современных информационных технологий и методов обработки данных в животноводческой сфере обнаруживается множество трудностей [15]. Возможным решением в этой связи является создание цифровых двойников молочного хозяйства. Такой двойник может быть представлен как СППР, позволяющая обеспечить сбор необходимой информации и на основе поступающих данных предлагать готовые решения [16].

2 Декомпозиция процесса молочного производства

Деятельность объекта в области сельского хозяйства включает последовательность операций и принимаемых управленческих решений, выбор которых обеспечивает эффективность предприятий.

Для выявления входящих и исходящих потоков, управляющих воздействий осуществлена декомпозиция процесса молочного производства посредством методологии *IDEF0*. Для формирования контекстной диаграммы А-0 выделены материальные и информационные потоки. Основным элементом рассмотрения задан требованием «произвести молоко». Входящие потоки: племенная продукция – эмбрионы и телята, непосредственно получаемые от коров имеющегося поголовья; корма животных. Выходными данными являются: молочная продукция; воспроизводство животных, необходимое для поддержания поголовья на должном уровне. Управляющими воздействиями являются: федеральные законы, в частности закон «О племенном животноводстве», регулирующий работу животноводческих хозяйств [17]; отраслевые стандарты, положения которых обязательны для исполнения; санитарная служба, осуществляющая надзор; покупатели, запросы которых определяют производственную политику сельскохозяйственного предприятия через формирование требований и покупательских предпочтений.

Важным фактором управления молочным животноводством является бонитировка – индивидуальная оценка каждого животного, способная устанавливать продуктивные и племенные качества изучаемых животных путём оценки их по особому комплексу признаков [18].

Механизмами реализации молочного производства являются: организация молочного производства как целостная система, обеспечивающая работу хозяйства; оборудование, степень использования которого позволяет оптимизировать молочное производство; инфра-

структура, оказывающая влияние на все элементы и стадии молочного производства; финансовые ресурсы как необходимый элемент деятельности фермерского хозяйства.

Контекстная диаграмма А-0 молочного производства приведена на рисунке 1.

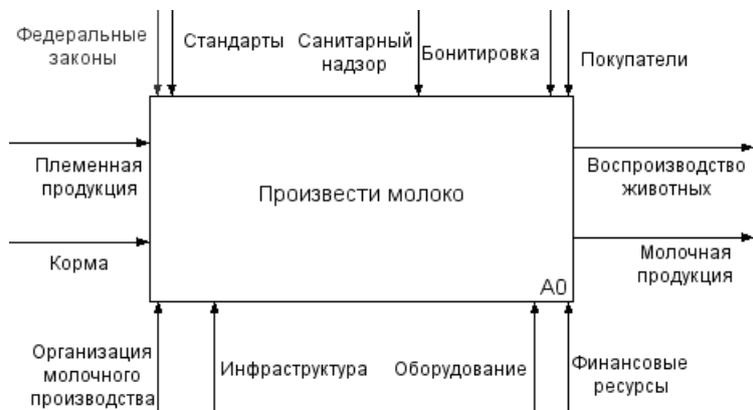


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма А-0 молочного производства

Для подробного представления процесса молочного производства выполнена декомпозиция полученной модели (рисунок 2 и 3). Молочное производство является последовательным сочетанием таких процессов (стадий), как разведение животных, производство молочной продукции и её реализация.

На стадии «Разведение животных» (см. рисунок 2) оказывают влияние все входящие потоки. Выходящим потоком на данной стадии, помимо «Воспроизводство животных», является поток «Животные производители». Поток «Корма» является входом только для стадии разведения, «Племенная продукция»- для первой и второй стадий за счёт обеспечения питания новорождённых телят.

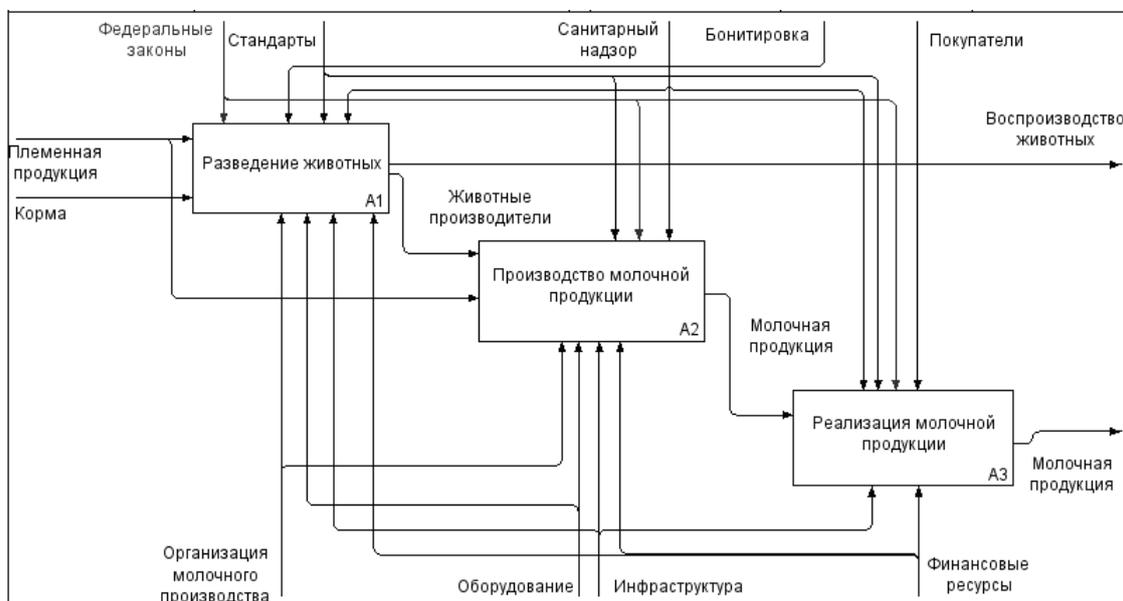


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции А0 молочного производства

Среди управляющих потоков исключительно на стадии «Разведение животных» оказывает влияние бонитировка, поскольку в дальнейших стадиях отбор животных не проводится. Управляющее воздействие «Покупатели» оказывает своё влияние только на стадии «Реализация молочной продукции», при этом процесс организации молочного производства и обо-

рудование оказывают значимое влияние на первых двух стадиях. Выходящим потоком стадии «Производство молочной продукции» является собственно продукция, которая может являться входящим потоком для стадии реализации или миновать данную стадию (например, в случае собственной переработки). Остальные управляющие потоки оказывают влияние на каждой из трёх выделенных стадий.

Ключевой фактор молочного производства – разведение животных (см. рисунок 3). Входящими потоками являются «Племенная продукция» на стадии «Разведение животных», а также «Корма» для питания животных на стадии «Выращивание». Телята отбираются в зависимости от породы и физических характеристик. Такие же показатели учитываются и при откорме животных. Бонитировка, как управляющий поток, оказывает влияние на первой стадии, в дальнейшем, после проведения предварительного отбора, как правило, дополнительные оценки физического состояния животных не проводятся.

Выходящим потоком из стадии «Разведение» является поголовье телят, которые подлежат выращиванию. В результате выращивания образуется поток «Животные производители», являющиеся основой молочного производства в хозяйстве.

Схема декомпозиции A1 представлена на рисунке 3.

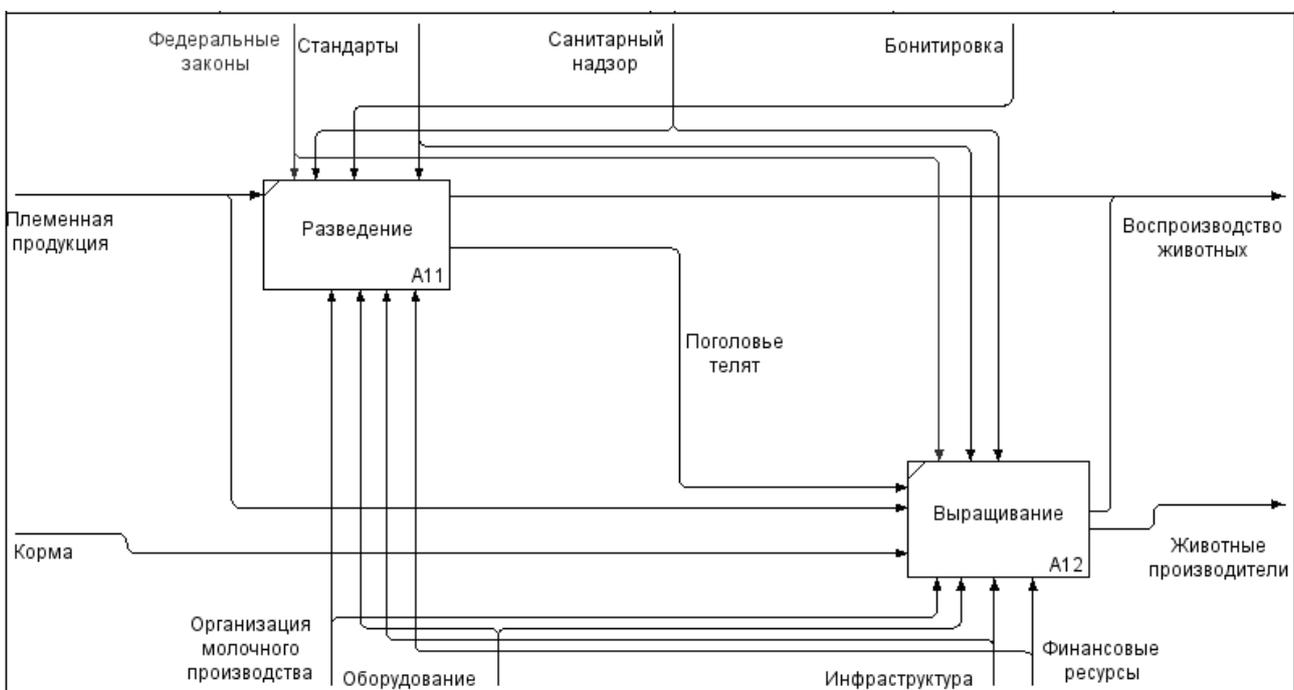


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции A1 стадии разведения животных

Важной составляющей молочного производства является процесс откорма животных [19]. Сбалансированное питание даёт заметный рост надоев – главного показателя, от которого зависит эффективность производства молочного животноводства. Для этого многие хозяйства организуют собственное выращивание и производство кормов, что позволяет им экономить на закупках и сбалансированно подбирать состав рациона питания.

3 Онтология молочного производства

Для разработки онтологии необходимо выявить и записать множества: понятий, отношений между понятиями, функций, описывающих понятия и их отношения. Данные множества выявлены посредством проведения декомпозиции процесса молочного производства. По-

строенные диаграммы (рисунки 2 и 3) позволяют сформировать понятия, отношения и функции онтологии. Концептуальная схема онтологии производства молочной продукции приведена на рисунке 4.

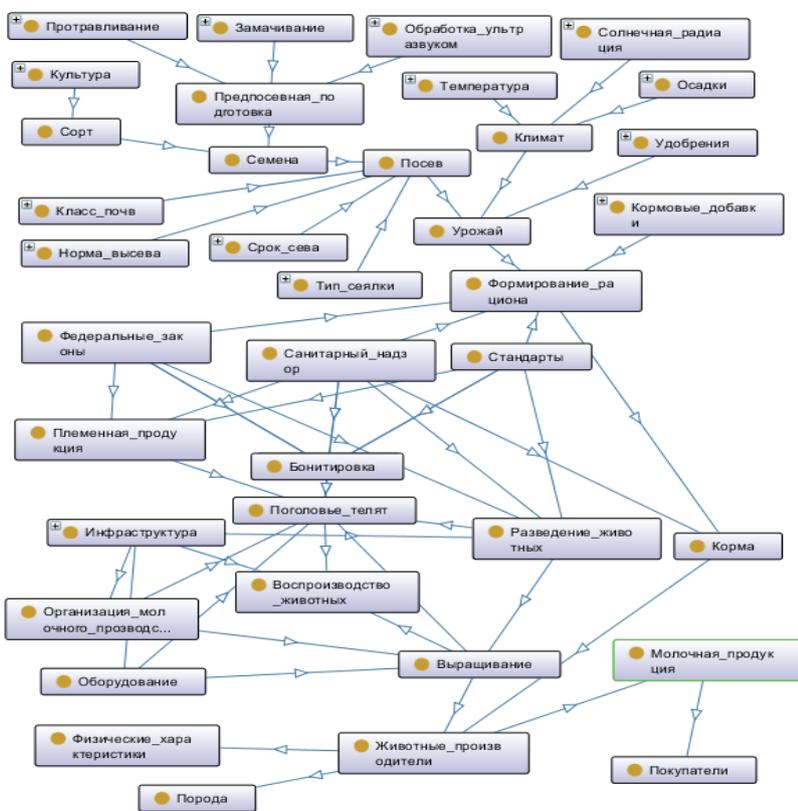


Рисунок 4 – Концептуальная схема онтологии производства молочной продукции

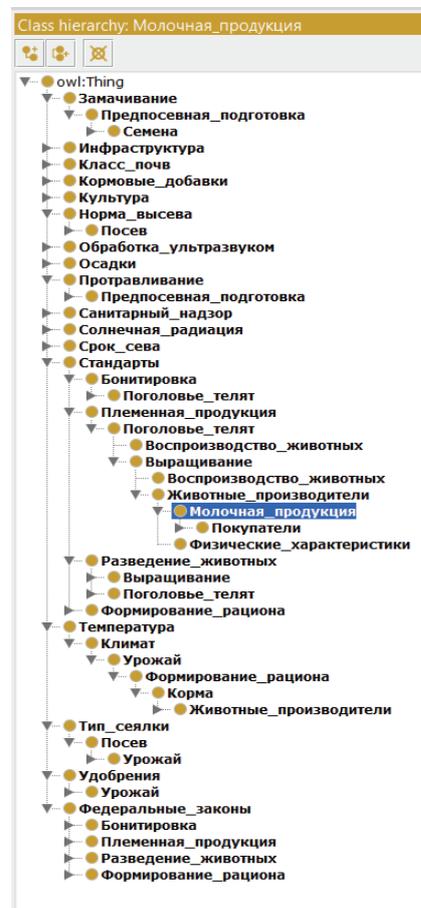


Рисунок 5 – Фрагмент иерархии классов онтологии производства молочной продукции

Понятие «семена» характеризуется атрибутом «культура», который имеет подразделение на подклассы по признаку «сорт». Управляющим воздействием на семена является их обработка перед посадкой, в частности протравливание, а также сроки сева и нормы высева. Почвы характеризуются классом и оказывают влияние на посев (совместно с типом сеялки).

Климат включает в себя температуру, осадки и солнечную радиацию. Урожай формируется посевом, климатом и удобрениями, которые имеют свой вид. На виды также подразделяются кормовые добавки, которые вместе с урожаем формируют рацион кормов.

Наиболее распространенной моделью представления онтологий и сложноструктурированных данных являются семантические сети. Создание онтологии позволяет выявить и учесть разнородные факторы, оказывающие влияние на процессы или параметры. Анализ всех возможных сочетаний параметров создаёт возможность для оптимизации производственных процессов и увеличения эффективности производства молочной продукции.

Структура классов показывает стадию реализации каждого фактора, обеспечивающего вклад в итоговый результат. Некоторые классы содержат подклассы, которые в совокупности формируют структуру и связи между всеми объектами онтологии.

Фрагмент иерархии классов построенной онтологии отображен на рисунке 5.

Созданная онтология позволила выделить основные понятия, применяемые при описании процесса молочного производства, и отношения между ними. Для большей наглядности

с точки зрения управления процессом производства полученная онтология преобразована в набор причинно-следственных связей посредством построения схемы Исикавы [20]. Схема Исикавы позволяет совместить все действующие потоки и управляющие воздействия в единое целое (см. рисунок 6).

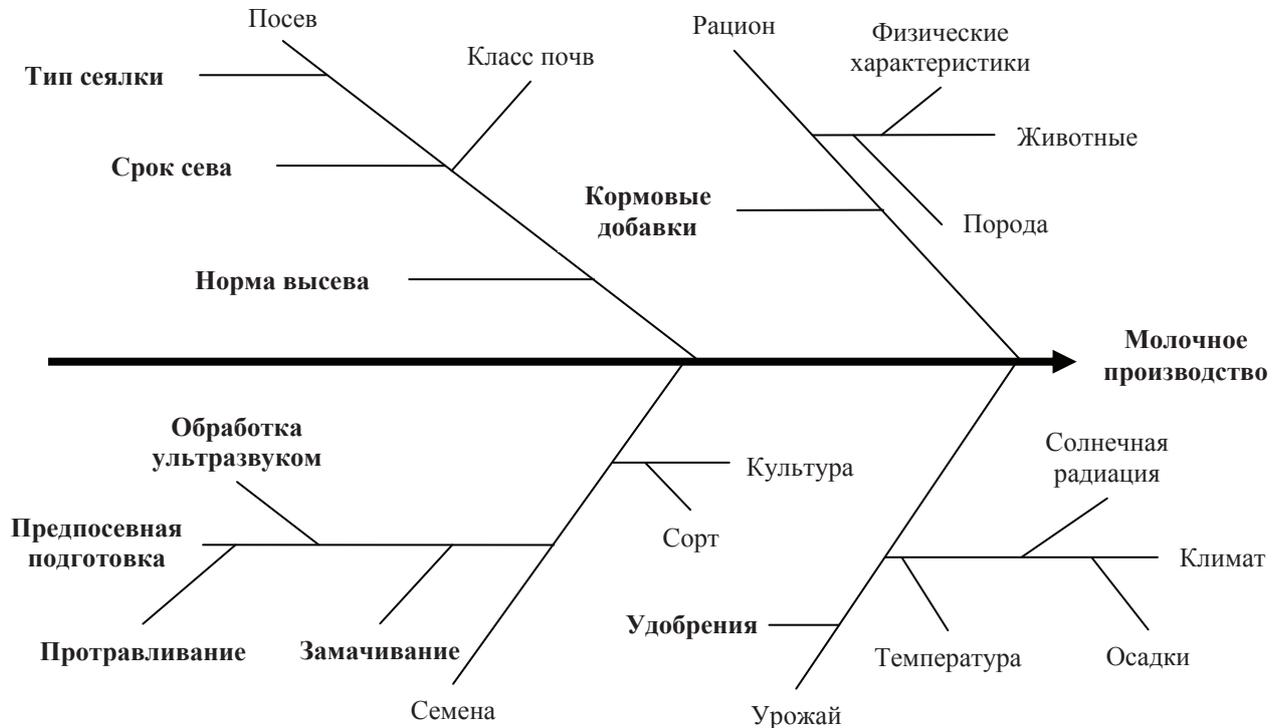


Рисунок 6 – Схема Исикавы, отображающая процесс молочного производства

На рисунке 6 обычным шрифтом обозначены входящие потоки, жирным – потоки управления. Учтена последовательность появления конкретных факторов и их влияния на итоговый результат – факторы оказывают своё действие слева направо, по направлению центральной стрелки. Полученная схема даёт представление о том, какие факторы и в какой последовательности оказывают своё влияние, при этом учитываются и управленческие воздействия на итоговый результат.

4 Формализованное описание эффективности процесса молочного производства

Для формализованного описания влияния факторов на экономическую эффективность, для оценки вклада каждого из них и для расчёта величины управляющих воздействий необходимо построить математическую модель оценки влияния комплексированных факторов на деятельность молочного хозяйства.

Пусть $J = \{j_1, j_2, \dots, j_{\alpha}\}$ – число видов кормовых культур, которые могут быть употреблены животными в качестве пищи. Каждая кормовая культура имеет разные сорта, пусть $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{\beta}\}$ – число сортов кормовых культур. Тогда совокупность кормовых культур разных сортов можно представить как J^L .

Фактором воздействия на семена является их предварительная подготовка (протравливание, предпосевная подготовка) перед посадкой, а также различные формы высева (сроки сева, нормы высева). Необходимо учитывать и типы сеялок, которые также оказывают влияние на урожайность. Пусть $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{\delta}\}$ – совокупность вариантов предварительной подго-

товки семян и форм посева. Тогда совокупность всех посевов X может быть отображена следующей зависимостью:

$$X = F(J^L, H) \quad (1)$$

Ключевым фактором выращивания урожая является почва. Пусть $V = \{v_1, v_2, \dots, v_\varepsilon\}$ – совокупность классов почв. Тогда совокупность засеянных определёнными культурами определённых сортов при определённых формах посева почв, обработанных определённым образом, можно представить в виде следующей зависимости:

$$S = F(X, V) \quad (2)$$

Урожайность можно представить как объём выращенных культур на единице площади. На урожайность существенное влияние оказывают климатические факторы (температура, осадки, солнечная радиация и т.д.) Пусть $K = \{k_1, k_2, \dots, k_\chi\}$ – количество климатических факторов, способных оказывать влияние на урожай. Управляющим воздействием на урожайность являются удобрения. Удобрения характеризуются составом, однако в аграрной практике, как правило, используется несколько видов удобрений со сходным составом. Пусть $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_\xi\}$ – различные виды удобрений. Тогда урожайность U с площади S можно отобразить равенством:

$$U = F(S, K, Q) \quad (3)$$

Важнейшей составляющей животноводческого предприятия является рацион питания животных. Помимо выращенного или закупленного урожая, в кормовом обеспечении почти всегда применяются кормовые добавки. Пусть $W = \{w_1, w_2, \dots, w_\gamma\}$ – различные виды кормовых добавок. Тогда рацион питания E можно отобразить равенством:

$$E = F(U, W) \quad (4)$$

Животные могут принадлежать к разным породам, иметь различный класс развития. Пусть $O = \{o_1, o_2, \dots, o_\phi\}$ – совокупность характеристик животных, включающих в себя породу и физические характеристики. Тогда совокупность животных Y разных пород и физических характеристик можно представить как Y^o .

Эффективность молочного хозяйства состоит в прямой зависимости от продуктивности животных. Эффективность Z можно выразить следующим равенством:

$$Z = F(Y^o, E) \quad (5)$$

Отличительной особенностью данного уравнения является то, что оно позволяет обрабатывать совокупности разноформатных данных и получать итоговый результат влияния комплексированных факторов.

Объединение в модели всех перечисленных факторов приводит к следующей оценке эффективности молочного производства:

$$Z = \mu + aJ^L + bH + cV + dK + eQ + fW + gY^o \rightarrow \max, \quad (6)$$

где μ – математическое ожидание размера надоев молока; a, b, c, d, e, f, g – коэффициенты при соответствующих факторах, оказывающих влияние на производство молока.

Подобная модель предполагает расчёт ключевых статистических показателей по каждому из факторов. Для этого были сформированы соответствующие базы данных для каждого показателя. Расчёт строится на корреляционном взаимодействии объясняющих факторов на итоговый результат и на наличии объясняемой дисперсии рассматриваемых признаков с использованием матричного метода. Для нахождения обратной матрицы используется метод Гаусса. Существующая проблема неинвертируемости матрицы решается добавлением ограничения, при этом, как правило, ограничение накладывают на математическое ожидание μ . Нахождение коэффициентов даёт возможность рассчитать все соответствующие характеристики, в том числе значения управляющих переменных H, Q, W .

Таким образом, оценка взаимного влияния рассмотренных факторов на итоговый результат создаёт возможность построения математических моделей, применение которых позволит определить необходимую степень воздействия на управляемые факторы для достижения максимальной эффективности производства молочной продукции.

5 Разработка СППР для молочного производства

Разработанные модели позволяют осуществлять управление продуктивностью молочного производства. Процесс управления состоит из двух самостоятельных направлений: анализ урожайности кормовых культур и анализ продуктивности молочного производства. Первое направление может быть управляемо посредством изменения таких факторов, как подготовка и высев семян, количество и состав удобрений. Второе направление регулируется данными о животных и составе кормовых добавок.

Обобщённая схема взаимодействия разнородных показателей на итоговую продуктивность даёт возможность разработать СППР для повышения продуктивности молочного производства. Общая схема СППР для лица, принимающего решение (ЛПР - фермера, руководителя хозяйства и т.д.) приведена на рисунке 7.

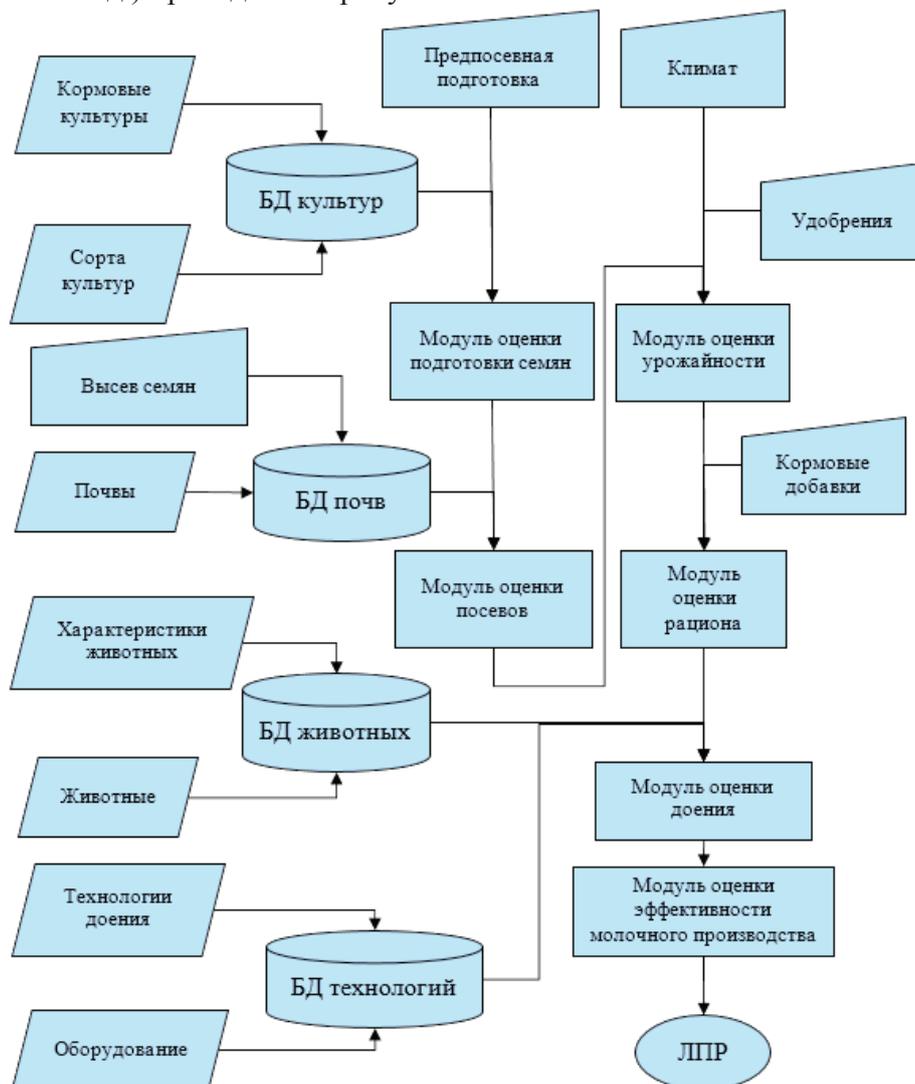


Рисунок 7 – Общая схема СППР для повышения продуктивности молочного производства с точки зрения ЛПР

Реализация разработанной СППР позволяет отслеживать изменения продуктивности молочного производства, анализировать данные, принимать решения об управляющем воздействии, реализуемом посредством внесения дополнительного количества удобрений, регулированием кормовых культур, изменением количества добавок в рационе питания.

Заключение

Проведённая декомпозиция процессов молочного производства позволила создать онтологию, учитывающую важные факторы, влияющие на эффективность такого производства. Практическая ценность представлена в виде формализованных моделей, которые возможно применить при построении современных СППР. Выявление ключевых параметров позволит оказывать управляющее воздействие на комплекс показателей повышения эффективности молочного производства.

Ключевые параметры объединены в уравнение, которое позволяет получать оценки с учётом комплексированных факторов. Предложена схема СППР, позволяющая принимать решения и оказывать управляющие воздействия на процесс молочного производства.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации (НШ-2502.2020.9), а также в соответствии с планом НИР на 2019-2020 годы ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН (№0761-2019-0004).

Список источников

- [1] **Плугов, А.** Российский рынок сельхозсырья и продовольствия - тенденции и прогнозы / А. Плугов // Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya---tendencii-i-prognozy>.
- [2] **Иванов, А.Л.** Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А.Л. Иванов // Земледелие. – 2009. – №1. – С.3-5.
- [3] **Израэль, Ю.А.** Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России / Ю.А. Израэль, О.Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6. – С.5-17.
- [4] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. Москва, 2020. 97 с. <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-e-rf-2019.pdf>.
- [5] Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm.
- [6] Информационная справка «Молочная отрасль России: текущее состояние и перспективы развития» // Аналитический центр СОЮЗМОЛОКО. – Москва, 2016. 6 с.
- [7] **Дятловская, Е.** В 2019 году посевные площади в России остались на прошлогоднем уровне / Е. Дятловская // Агроинвестор. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/32153-posevnye-ploshchadi-ostalis-na-proshlogodnem-urovne/>.
- [8] **Сафонов, А.Ю.** Развитие молочно-продуктового подкомплекса России / А.Ю. Сафонов // Московский экономический журнал. – 2019. – №9. <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2019-21/?print=print>.
- [9] **Михайленко, И.М.** Математическое моделирование и оценивание химического состояния почвенной среды по данным дистанционного зондирования Земли / И.М. Михайленко, В.Н. Тимошин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – №9-2(75). – С.26-37.
- [10] **Herzog, C.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food / C. Herzog // Whitehat Magazine. Nov 6, 2017. <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food>.
- [11] **Антонов, В.Н.** Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В. Н. Антонов, Л. А. Сладких // Геоматика. – 2009. – № 4. – С.50-53.

- [12] **Барталев, С.А.** Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS / С.А. Барталев, Е.А. Лупян, И.А. Нейштадт и др. // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 3. – С.68-75.
- [13] **Боргест, Н.М.** Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения / Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4. – С.423-442. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [14] **Sfiligo, E.** Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now / E. Sfiligo, L. Heacox // *Precision Ag*. August 12, 2016. <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>.
- [15] **Aleshina, E.A.** Agroindustrial clustering as a driver of the activation of breeding work in animal husbandry / E.A. Aleshina, D.V. Serdobintsev, E.I. Anisimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "Earth Science". 2020. С.062018.
- [16] **Болодурина, И.П.** Разработка системы принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства / И.П. Болодурина, С.А. Соловьев, С.С. Акимов // Вестник Южно-Уральского гос. университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2020. Т.20, №2. С.36-44.
- [17] Федеральный закон от 3 августа 1995 г. N 123-ФЗ «О племенном животноводстве (с изменениями на 8 декабря 2020 года)» // СПС Консультант Плюс. <http://www.consultant.ru/>.
- [18] Большой энциклопедический словарь: [А – Я] / Гл. ред. А. М. Прохоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая рос. энцикл.; СПб.: Норинт, 1997. 1408 с.
- [19] **Lialina, N.** Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2018. V. 4. N 1. P.109-119.
- [20] **Pérez-Piñeiro, P.** Agrobacterium-Mediated Transformation of Wheat: General Overview and New Approaches to Model and Identify the Key Factors Involved / P. Pérez-Piñeiro, J. Gago, M. Landin, P. Gallego. In book: *Transgenic Plants – Advances and Limitations*. P.3-26.

Сведения об авторах



Акимов Сергей Сергеевич, 1986 г. рождения. Окончил Российский государственный торгово-экономический университет (ныне РЭУ им. Плеханова) в 2008 году, в 2016 году - Оренбургский государственный университет (ОГУ). Старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах ОГУ, научный сотрудник ФНЦ БСТ РАН. ORCID: 0000-0003-4444-9945. AuthorID (RSCI): 631591; AuthorID (Scopus): 57191544067. sergey_akimov_work@mail.ru.

Болодурина Ирина Павловна, 1971 г. рождения. Окончила Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского в 1993 году по специальности "Прикладная математика". С 2000 года возглавляет кафедру прикладной математики ОГУ, в 2003 году защитила докторскую диссертацию, а в 2009 году получила звание профессора. Является членом учёного, научно-методического и редакционно-издательского советов математического факультета. ORCID: 0000-0003-0096-2587; AuthorID (RSCI): 118837; AuthorID (Scopus): 55809754500. ipbolodurina@yandex.ru.



Поступила в редакцию 05.02.2021, после рецензирования 06.03.2021, Принята к публикации 19.03.2021.

DSS construction based on the ontology of dairy production

S.S. Akimov, I.P. Bolodurina

Orenburg State University, Orenburg, Russia

Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the RAS, Orenburg, Russia

Abstract

The purpose of the work is to build and implement a decision support system (DSS) in dairy production based on formalized mathematical models and an ontological approach. The decomposition of the process of dairy production is carried out; the main factors influencing it and the relationship between them are highlighted. The ontology of the subject area has been formed, which is presented as a conceptual scheme and a class hierarchy. To describe the sequence of the influence of factors and identify control actions, the Ishikawa scheme for the production of dairy products has been developed. A formalized description of the efficiency of the dairy production process is proposed. A DSS has been developed for the production of dairy products, taking into account the factors associated with the variety and type of forage plants, methods of sowing seeds, pre-sowing preparation, class and type of soil, agro-climatic indicators, fertilization, class of animals and feed additives.

Key words: decision support system, dairy production, decomposition, ontology, Ishikawa scheme, formalization

Citation: Akimov SS, Bolodurina IP. DSS construction based on the ontology of dairy production [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 64-75. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-64-75.

Acknowledgment: The research was carried out with the support of the grant of the President of the Russian Federation for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation (NSh-2502.2020.9), as well as in accordance with the research plan for 2019-2020 FGBNU Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0761-2019 -0004).

List of figures

- Figure 1 - Context diagram A-0 of dairy production
- Figure 2 - Diagram of decomposition A0 of dairy production
- Figure 3 - Diagram of decomposition A1 of the animal breeding stage
- Figure 4 - Conceptual diagram of the ontology of dairy production
- Figure 5 - Fragment of the hierarchy of the ontology classes for the production of dairy products
- Figure 6 - Ishikawa diagram showing the dairy production process
- Figure 7 - General DSS scheme for increasing the productivity of dairy production from the point of view of decision makers

References

- [1] **Plugov A.** Russian market of agricultural raw materials and food. Trends and forecasts [In Russian]. Expert-analytical center of agribusiness "AB-Center". <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-selhozsyrya-i-prodovolstviya---tendencii-i-prognozy>.
- [2] **Ivanov AL.** Global climate change and its impact on agriculture in Russia [In Russian]. *Agriculture*. 2009; 1: 3-5.
- [3] **Israel YA, Sirotenko OD.** Modeling the climate change impact on the productivity of agriculture in Russia [In Russian]. *Meteorology and Hydrology*. 2003; 6: 5-17.
- [4] Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019 [In Russian]. Moscow, 2020. 97 p. <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-rf-2019.pdf>
- [5] Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 "On the approval of the Doctrine of food security of the Russian Federation" [In Russian]. www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm.
- [6] Information note "Dairy industry in Russia: current state and development prospects" [In Russian]. Analytical center SOYUZMOLOKO. Moscow, 2016. 6 p.

- [7] **Dyatlovskaya E.** In 2019, the sown area in Russia remained at the last year's level [In Russian]. *Agroinvestor*. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/32153-posevnye-ploshchadi-ostalis-na-proshlogodnem-urovne/>
- [8] **Safonov AY.** Development of the dairy-food subcomplex of Russia [In Russian]. *Moscow Economic Journal*. - 2019. - No. 9. <https://qje.su/otraslevaya-i-regionalnaya-ekonomika/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2019-21/?print=print>.
- [9] **Mikhailenko IM, Timoshin VN.** Mathematical modeling and assessment of the chemical state of the soil environment according to the data of remote sensing of the Earth [In Russian]. *International research journal*. 2018; 9-2 (75). 26-37.
- [10] **Chrisella Herzog.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food. Nov 6, 2017 - <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food>.
- [11] **Antonov VN, Sladkikh LA.** Monitoring of the state of crops and forecasting the yield of spring wheat according to remote sensing data [In Russian]. *Geomatics*. 2009; 4: 50-53.
- [12] **Bartalev SA, Lupyay EA, Neishtadt IA et al.** Classification of some types of agricultural crops in the southern regions of Russia according to MODIS satellite data [In Russian]. *Earth research from space*. 2006; 3: 68-75.
- [13] **Borgest NM, Budaev DV, Travin VV.** Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 423-442. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [14] **Sfiligo E, Heacox L.** Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now. August 12, 2016. - <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>.
- [15] **Aleshina EA, Serdobintsev DV, Anisimova EI.** Agroindustrial clustering as a driver of the activation of breeding work in animal husbandry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". – 2020. – C. 062018.
- [16] **Bolodurina IP, Soloviev SA, Akimov SS.** Development of a decision-making system for increasing the productivity of dairy farming [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University*. Series: Computer technology, control, electronics, 2020; 20(2): 36-44.
- [17] Federal Law of August 3, 1995 N 123-FZ "On livestock breeding (as amended on December 8, 2020)" [In Russian]. SPS ConsultantPlus. <http://www.consultant.ru/>.
- [18] Big Encyclopedic Dictionary: [A - Z] [In Russian]. Ch. ed. A.M. Prokhorov. - 2nd ed., Rev. and add. Moscow: Big ros. encyclical.; SPb.: Norint, 1997. 1408 p.
- [19] **Lialina N.** Influence of the intensity of feed costs on efficiency of dairy cattle breeding. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2018; 4(1): 109-119.
- [20] **Pérez-Piñeiro P, Gago J, Landin M, Gallego P.** Agrobacterium-Mediated Transformation of Wheat: General Overview and New Approaches to Model and Identify the Key Factors Involved. In book: *Transgenic Plants – Advances and Limitations* (pp.3-26).

About the authors

Sergey Sergeevich Akimov, born in 1986. In 2008 he graduated from the Russian State University of Trade and Economics (now Plekhanov Russian University of Economics) with a degree in Economics and Enterprise (Trade) Management, and in 2016 he got a degree in Management in Technical Systems from Orenburg State University (OSU). Senior Lecturer of the Department of Management and Informatics in Technical Systems of OSU, Researcher of the FSC BST RAS. ORCID: 0000-0003-4444-9945. Author ID (RSCI): 631591; Author ID (Scopus): 57191544067. sergey_akimov_work@mail.ru.

Irina Pavlovna Bolodurina, born in 1971. Graduated from the Saratov State University in 1993 with a degree in Applied Mathematics. Since 2000, she has been the head of the Department of Applied Mathematics of OSU, in 2003 she defended her doctoral dissertation, and in 2009 she received the title of professor. Irina is the author of many teaching aids. She is a member of the scientist, scientific-methodological and editorial-publishing councils of the Faculty of Mathematics of OSU. ORCID: 0000-0003-0096-2587; Author ID (RSCI): 118837; Author ID (Scopus): 55809754500. ip-bolodurina@yandex.ru.

Received February 5, 2021. Revised March 6, 2021. Accepted March 19, 2021.

Синергетические базы знаний

Г.Б. Евгеньев

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

Аннотация

Современные базы знаний должны в значительной мере соответствовать человеческому мышлению и реальности мира. Синергетические базы знаний создают возможность совместного использования как «жёстких» вычислений, которые требуют точности и единственности решения, так и «мягких» вычислений, допускающих заданную погрешность и неопределённость для конкретной задачи. Предложена методология создания синергетических систем для представления знаний с использованием технологий искусственного интеллекта. Методология основана на методах создания баз знаний и может использоваться для разработки систем проектирования и управления в отраслях промышленности. Предложена модель представления лингвистических переменных. Рассмотрен метод создания нечётких баз знаний и этапы механизма логического вывода. Описан нечёткий вывод на примере механизма Мамдани. Предложена функциональная схема создания систем нечёткого логического вывода на основе структурированного чёткого модуля знаний. Рассмотрен метод создания баз знаний для реализации нейросетевых моделей. Приведён пример базы знаний для обучения нейронных сетей.

Ключевые слова: мягкие вычисления, базы знаний, модуль знаний, интеллектуальные системы, системы проектирования.

Цитирование: Евгеньев, Г.Б. Синергетические базы знаний / Г.Б. Евгеньев // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.76-88. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-76-88.

Введение

Актуальным направлением развития интеллектуальных систем (ИС) является совместное использование методов и средств различных способов представления знаний. В настоящее время широко развиты работы по созданию гибридных систем [1-2]. Гибридизация представляет собой такое объединение методов и технологий, когда различные блоки системы реализуют какой-либо метод решения задач и взаимодействуют между собой. Гибридизация охватывает методы, объединяемые термином «мягкие вычисления» (*softcomputing*), которые включают: нечёткие системы [3, 4], нейронные сети [4-8], генетические алгоритмы [4, 9], и др. [10]. Представляется целесообразным расширить круг объединяемых методов, в который включить методы чётких вычислений «классического» искусственного интеллекта (ИИ) [11].

Синергетические системы ИИ обладают такими основными характеристиками, как множеством неоднородных компонентов и гибких взаимосвязей между компонентами, активностью, автономностью, семиотической природой взаимосвязей, открытостью, высоким эволюционным потенциалом. Архитектура и технологии синергетического ИИ отличаются неоднородностью, гибридность, объединением различных информационных технологий [12].

1 Словарь базы знаний

Для создания синергетической системы ИИ необходимо рассмотреть возможность гибридизации передовых методов теории программирования и классического ИИ [13]. Ядром для построения синергетической системы ИИ являются чёткие знания классического ИИ. Нечёткие знания строятся на базе лингвистических переменных. Для наполнения математи-

ческих знаний семантикой над ними нужно надстроить систему чётких знаний. При этом формальные математические переменные, связанные с переменными словаря базы знаний (БЗ), получают смысловое содержание.

Фундаментом для построения чётких знаний является словарь. Словарь имеет имя и методы, обеспечивающие сортировку и поиск слов, а также импорт слов из текстовых документов. Словарь состоит из слов, каждое из которых обладает именем-идентификатором, общепринятым наименованием и типом (целый, действительный или символьный). Имеются методы добавления и удаления слов, а также определения входимости слов в модули знаний (МЗ). Со словами могут быть связаны ассоциативные списки допустимых значений. Ассоциативные списки, также как и слова, имеют имя-идентификатор, наименование списка и тип значений. С ассоциативными списками связаны методы добавления, удаления, сортировки и поиска списка. Списки состоят из элементов, каждый из которых должен иметь значение и может быть добавлен или удалён.

На рисунке 1 приведён пример фрагмента словаря и ассоциативных списков для построения нечёткой БЗ. На основе словаря строятся МЗ [14]. Каждый МЗ имеет наименование, имя-идентификатор, имя предусловия и версию. С модулем связаны методы добавления, выбора модуля-аналога, трансляции и тестирования модуля, определения входимости МЗ в БЗ и другие модули, а также удаления модуля. МЗ имеет свой словарь, представляющий собой подмножество терминов из словаря БЗ и включающий входные и выходные переменные. Предусловие определяет область определения модуля и содержит набор взаимосвязанных логических выражений.

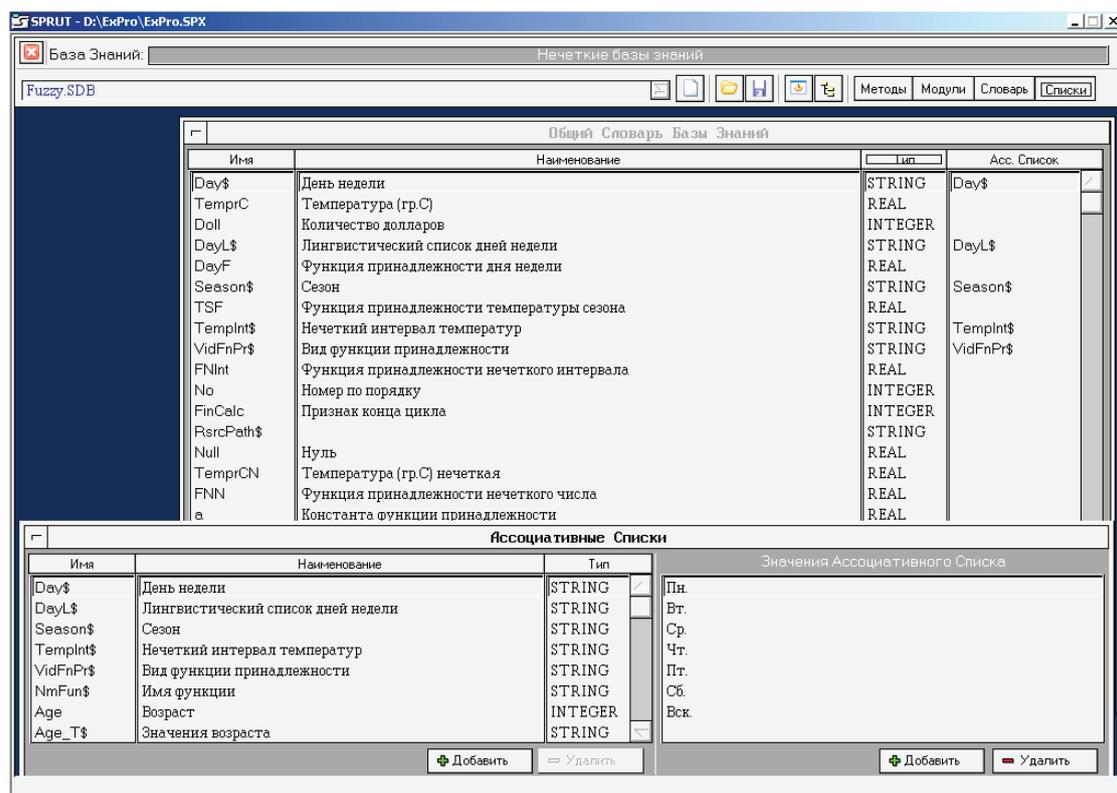


Рисунок 1 - Пример фрагмента словаря для построения нечёткой базы знаний

На рисунке 2 приведён пример модуля расчёта по формуле. Модуль имеет наименование «Расчёт функции принадлежности нечёткого числа по Гауссу» и имя «RsFNNG». Механизм модуля реализует формула $FNN = 2.718^{-(a_*(quant-quantn)^2)}$.

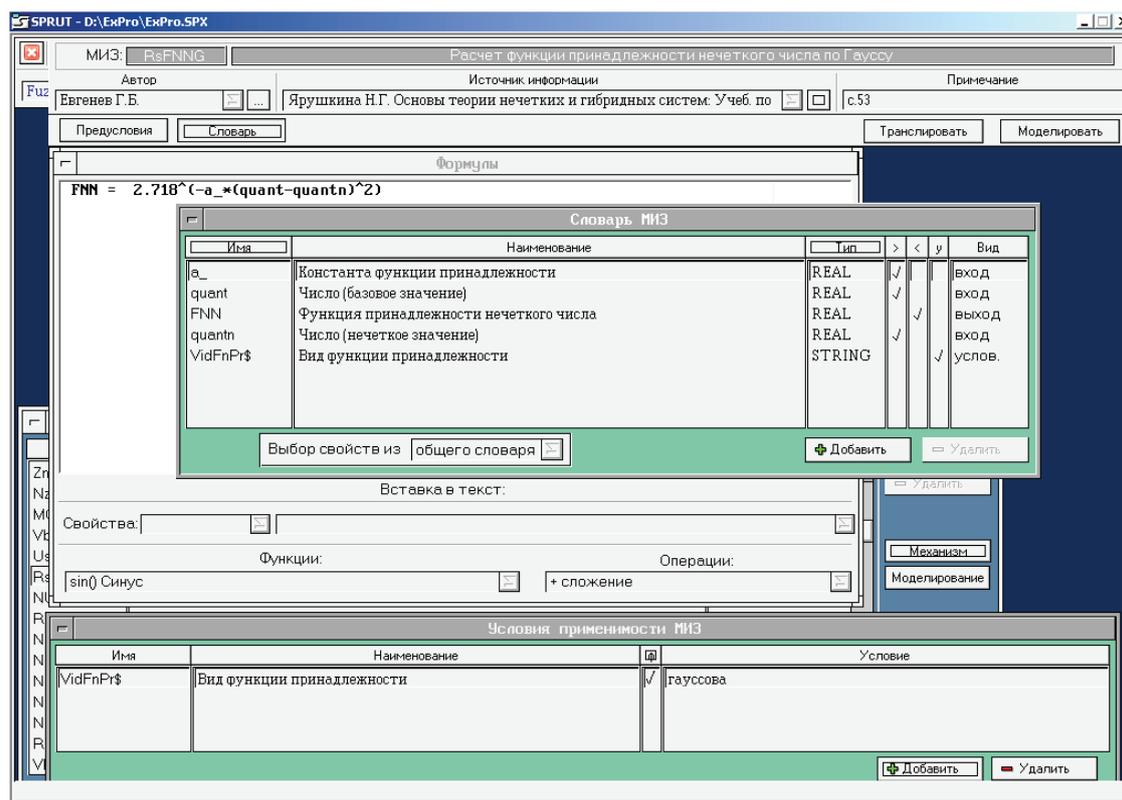


Рисунок 2 - Пример модуля знаний с механизмом вычисления по формуле

Словарь модуля включает входные переменные: a – константа функции принадлежности, $quant$ – число (базовое значение), $quantn$ – число (нечёткое значение), а также выходную переменную FNN – функция принадлежности нечёткого числа и управляющую переменную $VidFnPr\$$ – вид функции принадлежности. Модуль применяется, если вид функции принадлежности имеет значение «функция Гаусса» [14].

2 Лингвистические переменные

Системы нечётких продукций строятся на основе понятия «лингвистическая переменная» [15]. Лингвистической переменной называется пятерка $\{x, T(x), X, G, M\}$, где x - имя переменной; $T(x)$ - множество имён лингвистических значений переменной x , каждое из которых является нечётким множеством на множестве X ; G - синтаксическое правило для образования имён значений x ; M - семантическое правило для ассоциирования каждой величины значения с её понятием.

Например, лингвистическую переменную «возраст человека», можно представить так:

x : «возраст»;

X : множество целых чисел из интервала $[1, 120]$;

$T(X)$: значения «молодой», «зрелый», «старый»;

G : «очень», «не очень» – модификатор возраста (например, «очень молодой», «не очень старый» и пр.);

M : правило, определяющее вид функции принадлежности для каждого значения из множества T .

В структуре чётких знаний лингвистическая переменная представляется в виде структурированного МЗ (см., например, таблицу 1).

Таблица 1 – Пример МЗ лингвистической переменной «возраст человека»

имя	наименование	тип	вид
x_	Переменная x	REAL	вход
Age_G\$	Модификаторы возраста	STRING	выход
Age_T\$	Значения возраста	STRING	выход
FnPr	Функция принадлежности	REAL	выход
a_	Константа функции принадлежности	REAL	локал.
dax	Разность a - x	REAL	локал.
dxb	Разность x - b	REAL	локал.
b_	Константа 2 функции принадлежности	REAL	локал.

В описываемом модуле использована шкала возрастов. Функция принадлежности равна 1: для значения «молодой» – до 30 лет, для значения «зрелый» – от 30 до 60 лет, для значения «старый» – от 60 лет. Модификатор возраста действует при отклонениях от этих значений в пределах 5 лет (например, до 35 лет – не очень молодой).

Например, для значения возраста «молодой» используется функция принадлежности класса L , которая определяется как:

$$L(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a, \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 0, & x \geq b, \end{cases}$$

Структуры МЗ для расчёта этой функции имеют следующий вид.

МЗ: MRsFPPrL - Метод расчёта функции принадлежности класса L

Предусловия запуска

имя	наименование	тип	условие
Age_T\$	Значения возраста	STRING	молодой

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
x_	Переменная x	REAL	
a_	Константа функции принадлежности	REAL	
b_	Константа 2 функции принадлежности	REAL	

Механизм - Внешний Метод

База Знаний:	текущая База Знаний - Fuzzy.SDB
Метод:	RsFPPrL/Расчет функции принадлежности класса L

Согласование свойств внешнего метода и свойств МЗ

a_	Константа функции принадлежности	= a_	Константа функции принадлежности
b_	Константа 2 функции принадлежности	= b_	Константа 2 функции принадлежности
x_	Переменная x	= x_	Переменная x
FnPr	Функция принадлежности	= FnPr	Функция принадлежности

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
FnPr	Функция принадлежности	REAL	

Используемые здесь константы в соответствии с принятой шкалой назначаются с помощью модуля.

МЗ: NzPrAge - Назначение параметров возраста

Предусловия запуска

имя	наименование	тип	условие
-----	--------------	-----	---------

Механизм - Формула

$a_ = 30, b_ = 60$

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
b_	Константа 2 функции принадлежности	REAL	
a_	Константа функции принадлежности	REAL	

M3: NzAgG - Назначение модификатора возраста**Предусловия запуска**

имя	наименование	тип	условие
-----	--------------	-----	---------

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
FnPr	Функция принадлежности	REAL	

Механизм - Таблица

Конфигурация свойств в таблице

FnPr	Age_G\$
------	---------

Таблица

1	очень
[0,1)	не очень

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
Age_G\$	Модификаторы возраста	STRING	

3 Нечёткие базы знаний

Основой для проведения операции нечёткого логического вывода является база правил, содержащая нечёткие высказывания в форме «ЕСЛИ-ТО», и функции принадлежности для соответствующих лингвистических переменных (термов). При этом должны соблюдаться следующие условия.

- 1) Существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной переменной.
- 2) Для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

В противном случае имеет место неполная база нечётких правил.

Пусть в базе правил имеется m правил вида:

R_1 : ЕСЛИ x_1 это A_{11} ... И ... x_n это A_{1n} , ТО y это B_1

...

R_i : ЕСЛИ x_1 это A_{i1} ... И ... x_n это A_{in} , ТО y это B_i

...

R_m : ЕСЛИ x_1 это A_{m1} ... И ... x_n это A_{mn} , ТО y это B_m ,

где $x_k, k=1..n$ – входные переменные; y – выходная переменная; A_{ik} – заданные нечёткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечёткого вывода является чёткое значение переменной y^* на основе заданных чётких значений x_k .

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: введение нечёткости (фазификация), нечёткий вывод, композиция и приведение к чёткости, или дефазификация. Алгоритмы нечёткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефазификации.

Нечёткий вывод приведён на примере механизма Мамдани (Mamdani) [1,2]. Это наиболее распространённый способ логического вывода в нечётких системах. В нём используется ми-

максимальная композиция нечётких множеств. Данный механизм включает в себя: процедуру фазификации; нечёткий вывод; композицию, использующую максимальную композицию нечётких множеств; дефазификацию, или приведение к чёткости. Используются несколько методов дефазификации, например, метод среднего центра, или центроидный метод.

Пример применения нечёткой БЗ в задаче определения времени стирки на машине.

На входе БЗ имеются чёткие переменные: масса белья в килограммах (*Mass*) со множеством чисел из интервала от 0 до 5 и температура воды в градусах (*Tv*) со множеством значений от 0 до 90. На выходе определяется чёткая переменная - время стирки в минутах (*Dlt*) со множеством значений от 0 до 150. С массой белья связана лингвистическая переменная «количество белья» со значениями «много» и «мало». С температурой связана лингвистическая переменная «температура воды» со значениями «высокая» и «низкая». Со временем стирки связана лингвистическая переменная «длительность», имеющая значения «высокая» и «малая».

БЗ состоит из двух правил:

R₁: ЕСЛИ <количество_белья> = <много> И
<температура_воды> = <высокая>, ТО
<длительность> = <высокая>

R₂: ЕСЛИ <количество_белья> = <мало> И
<температура_воды> = <низкая>, ТО
<длительность> = <малая>.

Метод фазификации переменных осуществляется с помощью соответствующих МЗ.

МЗ Выполнение нечёткого вывода для стиральной машины

ранг	имя	наименование
0	<u>NzImFn</u>	Назначение имени функции
1	<u>NzZnPr22</u>	Назначение значения низкая переменной температура воды
1	<u>NzZnPr21</u>	Назначение значения мало переменной количество белья
1	<u>NzZnPr11</u>	Назначение значения много переменной количество белья
1	<u>NzZnPr12</u>	Назначение значения высокая переменной температура воды
2	<u>MFuzif21</u>	Метод фазификации 1 переменной 2 правила
2	<u>MFuzif22</u>	Метод фазификации 2 переменной 2 правила
2	<u>MFuzif12</u>	Метод фазификации 2 переменной 1 правила
2	<u>VpR1</u>	Выполнение правила R1
2	<u>VpR2</u>	Выполнение правила R2
2	<u>MFuzif11</u>	Метод фазификации 1 переменной 1 правила
3	<u>MRsTnR2</u>	Метод расчёта T-нормы для правила R2
3	<u>MRsTnR1</u>	Метод расчёта T-нормы для правила R1
4	<u>RsDlml</u>	Расчёт малой длительности
4	<u>RsDlvs</u>	Расчёт высокой длительности

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
<u>Mass</u>	Масса, кг	REAL	0.7
<u>Tv</u>	Температура, град	REAL	20.1

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
<u>Dlt</u>	Длительность, мин	REAL	37.5

4 Нейросетевые модели знаний

Для построения ИС традиционно применяются два основных подхода. Первый основан на правилах. При этом подходе необходимо заранее знать весь набор закономерностей, описывающих предметную область. Он детально описан в [14]. При использовании другого подхода, основанного на примерах, надо иметь достаточное количество примеров для настройки адаптивной системы с заданной степенью достоверности. Нейронные сети (НС) представляют собой пример такого подхода. С точки зрения экспертного программирования НС может рассматриваться как механизм одного из правил [13]. При построении БЗ такое правило может использоваться совместно со всеми другими типами правил. Комбинированный подход обеспечивает получение правил на основе примеров, сохранённых в базе данных (БД). Это – извлечение знаний из данных.

Искусственные нейронные сети НС предназначены для решения широкого круга задач: принятия решений, распознавания образов, идентификации, прогнозирования, оптимизации, управления сложными объектами. Применительно к рассматриваемой тематике наибольший интерес представляет применение НС для принятия решений и управления. Эта задача близка к задаче классификации. Классификации подлежат ситуации, характеристики которых поступают на вход НС. На выходе сети при этом должен появиться признак решения, которое она приняла. При этом в качестве входных сигналов используются различные критерии описания состояния управляемой системы.

Формальным нейроном называется элемент, используемый в узлах НС. Ему может быть поставлена в соответствие структурная схема, представленная на рисунке 3.

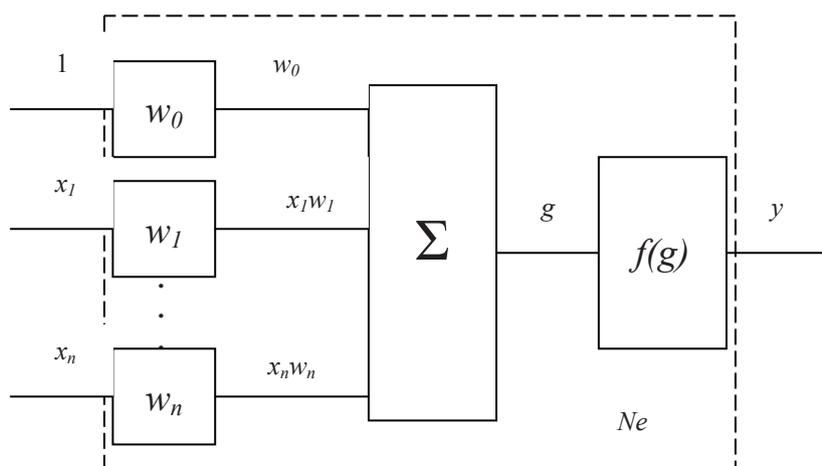


Рисунок 3 - Структурная схема формального нейрона

Схема формального нейрона включает n входных блоков умножения на коэффициенты w_i , один сумматор и выходной блок функционального преобразования. Функция, которую реализует выходной блок, получила название функции активации. Коэффициенты w_i получили название синаптических коэффициентов или коэффициентов межнейронной связи.

Формальный нейрон может быть представлен с помощью двух МЗ. Первый реализует входные блоки и сумматор, а второй – функцию активации. В качестве простого примера модуля, осуществляющего расчёт взвешенной суммы входов нейрона, приведено внешнее представление МЗ RSNeur11. Модуль не имеет предусловия запуска. Такой модуль запускается на исполнение, когда будут определены все входные свойства. В качестве входных свойств выступают входные переменные и синаптические коэффициенты. Выходом модуля является взвешенная сумма входов нейрона, которая вычисляется по формуле.

МЗ: RSNeur11 - Расчёт взвешенной суммы входов нейрона 1 слоя 1**Предусловия запуска**

имя	наименование	тип	условие
-----	--------------	-----	---------

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
w14	Вес связи 14	REAL	
x_2	Входная переменная 2	REAL	
x_0	Входная переменная 0	REAL	
x_3	Входная переменная 3	REAL	
x_8	Входная переменная 8	REAL	
x_9	Входная переменная 9	REAL	
w11	Вес связи 11	REAL	
w13	Вес связи 13	REAL	
w12	Вес связи 12	REAL	
x_1	Входная переменная 1	REAL	
w16	Вес связи 16	REAL	
w17	Вес связи 17	REAL	
w15	Вес связи 15	REAL	
w19	Вес связи 19	REAL	
w18	Вес связи 18	REAL	
x_6	Входная переменная 6	REAL	
x_4	Входная переменная 4	REAL	
x_5	Входная переменная 5	REAL	
x_7	Входная переменная 7	REAL	

Механизм - Формула

$$s11 = x_{0+x_1} * w11 + x_2 * w12 + x_3 * w13 + x_4 * w14 + x_5 * w15 + x_6 * w16 + x_7 * w17 + x_8 * w18 + x_9 * w19$$

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
s11	Взвешенная сумма входов нейрона 1 слоя 1	REAL	

Вычисление значения функции активации осуществляется модулем RFNeur11. Модуль имеет предусловие, которое определяет вид выбранной функции. В данном случае используется логистическая функция. Входные свойства модуля включают параметр функции активации и взвешенную сумму входов нейрона. Параметр функции активации выбирается из БД со свойствами сети нейронов, а взвешенная сумма входов вычисляется предыдущим МЗ.

МЗ: RFNeur11 - Расчёт функции активации нейрона 1 слоя 1**Предусловия запуска**

имя	наименование	тип	условие
VidAktFn\$	Вид активационной функции	STRING	логистическая

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
a_	Параметр функции активации	REAL	
s11	Взвешенная сумма входов нейрона 1 слоя 1	REAL	

Механизм - Формула

$$y11 = 1 / (1 + 2.71828^{(-a_*s11)})$$

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
y11	Активационная функция нейрона 1 слоя 1	REAL	

Приведённые выше два МЗ реализуют формальную модель нейрона. С помощью описанной технологии возможно генерировать модели с другими количествами входных переменных и синаптических коэффициентов, а также с другими активационными функциями и с другими моделями нейронов. Хотя один нейрон и способен выполнять простейшие процедуры распознавания, эффективность нейронных вычислений проявляется в нейронных сетях. Простейшая сеть состоит из группы нейронов, образующих слой (см. рисунок 4).

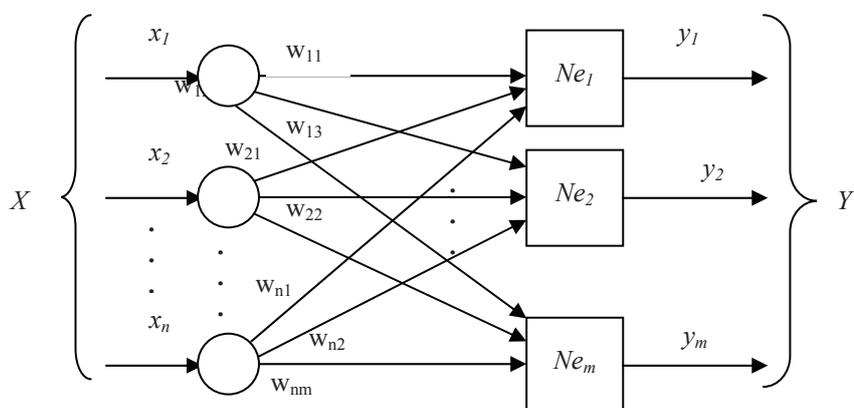


Рисунок 4 - Простейшая однослойная нейронная сеть

Вершины-круги, представленные на рисунке 4, предназначены для распределения входных сигналов. Каждый элемент из множества входов X соединён с каждым искусственным нейроном Ne_i отдельной связью, которой приписан вес (синаптический коэффициент). Удобно считать веса элементами матрицы W . Матрица имеет n строк и m столбцов, где n – число входов, а m – число нейронов.

Для построения продукционной модели НС генерируется метод, состоящий из набора МЗ. Этот метод в дальнейшем может использоваться в качестве модуля в сложных БЗ.

На рисунке 5 представлена функциональная модель НС в соответствии со стандартом *IDEF0*. Функция модели заключается в вычислении компонент y_j вектора Y . Для этого в качестве входных переменных используются компоненты x_i вектора X . Механизмом выполнения этой функции является МЗ и элементы матрицы весов W , которые хранятся в БД. НС характеризуется параметрами: количество входов и выходов, количество слоёв и нейронов в каждом слое, параметры активационной функции.

Ниже приведён пример внешнего представления автоматически сгенерированного метода расчёта простой однослойной НС, включающей три нейрона, десять входных и три выходных переменных.

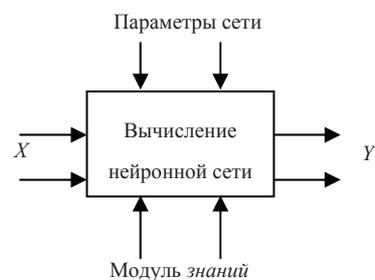


Рисунок 5 - Функциональная модель нейронной сети

МЗ RsNeurNet - Расчёт нейронной сети

ранг	имя	наименование
0	<u>VzPrNet</u>	Вызов параметров сети
0	<u>NUstN</u>	Начальная установка номера входной переменной
0	<u>NUstPer</u>	Начальные установки переменных
1	<u>MVvW</u>	Метод ввода весовых коэффициентов 1-го слоя
2	<u>RSNeur21</u>	Расчёт взвешенной суммы входов нейрона 2 слоя 1

2	RSNeur11	Расчёт взвешенной суммы входов нейрона 1 слоя 1
2	RSNeur31	Расчёт взвешенной суммы входов нейрона 3 слоя 1
3	RFNeur21	Расчёт логистической активационной функции нейрона 2 слоя 1
3	RFNeur11	Расчёт логистической активационной функции нейрона 1 слоя 1
3	RFNeur31	Расчёт логистической активационной функции нейрона 3 слоя 1
4	FrOut11	Формирование выхода однослойной сети с одним нейроном
4	FrOut12	Формирование выхода однослойной сети с двумя нейронами
4	FrOut13	Формирование выхода однослойной сети с тремя нейронами

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
x_10	Входная переменная 10	REAL	
x_8	Входная переменная 08	REAL	
x_7	Входная переменная 07	REAL	
x_4	Входная переменная 04	REAL	
x_6	Входная переменная 06	REAL	
x_5	Входная переменная 05	REAL	
x_9	Входная переменная 09	REAL	
x_2	Входная переменная 02	REAL	
x_3	Входная переменная 03	REAL	
x_1	Входная переменная 01	REAL	

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
y_1	Выходная переменная 1	REAL	0.
y_2	Выходная переменная 2	REAL	0
y_3	Выходная переменная 3	REAL	0

М3 метода автоматически ранжируются в порядке определения необходимых для их работы переменных. В данном случае в ранге 0 размещаются модуль вызова из БД параметров сети и служебные модули начальных установок переменных. Ранг 1 включает метод ввода весовых коэффициентов, вызываемых из БД.

Ранг 2 состоит из модулей расчёта взвешенных сумм входов всех нейронов, а ранг 3 – из модулей расчёта активационных функций для этих нейронов. В заключительном ранге 4 располагаются модули формирования выходных переменных.

Важнейшим компонентом построения БЗ на основе НС является обучение. В качестве примера построения алгоритма обучения рассмотрен метод обучения, названный δ -правило [5]. Пусть имеется обучающая выборка, состоящая из пар векторов (X^k, Y^k) , $k = 1, 2, \dots, p$. НС называется обученной на данной обучающей выборке, если при подаче на входы сети каждого вектора X^k на выходах всякий раз получается соответствующий вектор Y^k . Обучение заключается в итерационной подстройке матрицы весов W , последовательно уменьшающей ошибку в выходных векторах. Алгоритм включает следующие шаги.

Шаг 0. Проинициализировать элементы весовой матрицы W случайными значениями.

Шаг 1. Подать на входы один из входных векторов X^k и вычислить его выход Y^k .

Шаг 2. Если выход правильный ($Y = Y^k$), перейти на шаг 4. Иначе, вычислить вектор ошибки – разницу между заданным и полученным значениями выхода: $\delta = Y^k - Y$.

Шаг 3. Матрица весов модифицируется по следующей формуле: $w^{t+1}_{ij} = w^t_{ij} + v \cdot \delta \cdot x_i$. Здесь t и $t+1$ – номера соответственно текущей и следующей итераций; v – коэффициент скорости обучения ($0 < v \leq 1$); x_i – i -я компонента входного вектора X^k ; j – номер нейрона в слое.

Шаг 4. Шаги 1–3 повторяются для всех обучающих векторов. Обучение завершается, когда сеть перестаёт ошибаться.

M3 ObNeurNet - Обучение нейронной сети

ранг	имя	наименование
0	<u>NUstN</u>	Начальная установка номера входной переменной
0	<u>NUstNc</u>	Начальная установка номера цикла обучения
0	<u>VzPrNet</u>	Вызов параметров сети
1	<u>PerAdrOb</u>	Переадресация цикла обучения
1	<u>VvNObVb</u>	Ввод номера обучающей выборки
2	<u>MVvXob</u>	Метод ввода входных переменных обучающей выборки
2	<u>MInitW</u>	Метод инициации весов матрицы W
2	<u>MVvYob</u>	Метод ввода выходных переменных обучающей выборки
2	<u>NzFnClOb</u>	Назначение признака конца цикла обучения
3	<u>MModW</u>	Метод модификации матрицы весов

В ранг 0 входят служебные M3, которые не включаются в тело цикла обучения сети. Они осуществляют начальные значения переменных, необходимых для дальнейшего использования и вызов параметров сети, включающих количества входных и выходных переменных, слоёв нейронов, а также параметр функции активации.

В ранг 1 входят M3, осуществляющие переадресацию цикла обучения и ввод номера обучающей выборки.

В ранг 2 входят следующие M3. Структурированный модуль инициации весов матрицы W , выполняющий функции шага 0. Этот модуль выполняется однократно в начале цикла обучения. Два модуля ввода входных и выходных переменных обучающей выборки, выполняющие функции шага 1. Модуль назначения признака конца цикла обучения, выполняющий функции шага 2.

В ранг 3 входит модуль модификации матрицы весов, выполняющий функции шага 3.

Заключение

Базовыми принципами мягких вычислений являются: терпимость к неточности, неопределённости и частичной истинности, робастности, низкой стоимости решения и лучшего согласия с реальностью. Интеграция жёстких вычислений с мягкими может осуществляться посредством создания синергетических БЗ.

В работе представлен подход к созданию синергетических БЗ в формате структурированных M3.

Список источников

- [1] **Батыршин, И.З.** Нечёткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин, А.О. Недосекин, А.А. Стецко, В.Б. Тарасов, А.В. Язенин, Н.Г. Ярушклина // Под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 208 с.
- [2] **Ярушкина, Н.Г.** Основы теории нечётких и гибридных систем / Н.Г. Ярушкина. – М. Финансы и статистика, 2004. 320 с.
- [3] **Штовба, С.Д.** Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. М.: Горячая линия-Телеком. 2007. 288 с.
- [4] **Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 383 с. ISBN 5-93517-103-1.
- [5] **Рутковский, Л.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / Лешек Рутковский. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. 520 с. ISBN 978-5-9912-0105-6.
- [6] **Усков, А.А.** Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. — М.: Горячая Линия-Телеком, 2004. 143 с.

- [7] **Голубев, Ю.Ф.** Нейросетевые методы в мехатронике / Ю.Ф. Голубев. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 157 с. ISBN 978-5-211-05434-9.
- [8] **Хайкин, С.** Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation / С. Хайкин. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. 1104 с. ISBN 0-13-273350-1.
- [9] **Гладков, Л.А.** Генетические алгоритмы: / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 2006. 320 с. ISBN 5-9221-0510-8.
- [10] **Ульянов, С.В.** Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений / С.В. Ульянов, Л.В. Литвинцева, В.Н. Добрынин, А.А. Мишин. - М.: ВНИИгеосистем, 2011. 406 с.
- [11] **Hutter, M.** Universal Artificial Intelligence / Marcus Hutter. Berlin: Springer. 2005. ISBN 978-3-540-22139-5.
- [12] **Тарасов, В.Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
- [13] **Евгениев, Г.Б.** Экспертопедия как средство создания онтологического Интернета знаний / Г.Б. Евгениев // Онтология проектирования. — 2019. — Т.9, №3(33). — С.7-23. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.
- [14] **Евгениев, Г.Б.** Основы автоматизации технологических процессов и производств. Т. 2: Методы проектирования и управления / Г.Б. Евгениев // Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 479 с.
- [15] **Заде, Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений / Л. Заде. — М.: Мир, 1976. 166 с.

Сведения об авторе

Евгениев Георгий Борисович, 1938 г. рождения. Окончил Московский авиационный технологический институт в 1960 г., к.т.н. (1964), д.т.н. (1975). Лауреат премии Совета Министров СССР (1991). Профессор кафедры Компьютерные системы автоматизации производства МГТУ им. Н.Э. Баумана. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 190 работ в области САПР и ИИ. AuthorID (РИНЦ): 17685. g.evgeniev@mail.ru.



Поступила в редакцию 17.09.2020, после рецензирования 01.02.2021. Принята к публикации 05.03.2021.

Synergetic knowledge bases

G.B. Evgeniev

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia

Abstract

Modern knowledge bases must largely correspond to human thinking and the reality of the world. Synergetic knowledge bases create the possibility of joint use of both "hard" computing, which require the accuracy and uniqueness of the solution, and "soft" computing, allowing a given error and uncertainty for a specific problem. A methodology for creating synergetic systems for the representation of knowledge using artificial intelligence technologies is proposed. The methodology is based on knowledge base methods and can be used to develop design and management systems in industries. A model for representing linguistic variables is proposed. The method of creating fuzzy knowledge bases and the stages of the inference mechanism are considered. The fuzzy inference is described using the example of the Mamdani mechanism. A functional diagram of the creation of fuzzy inference systems based on a structured clear knowledge module is proposed. A method for creating knowledge bases for the implementation of neural network models is considered. An example of a knowledge base for training neural networks is given.

Key words: *soft computing, knowledge bases, knowledge module, intelligent systems, design systems.*

Citation: *Evgeniev GB. Synergetic knowledge bases [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(1): 76-88. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-76-88.*

List of figures and tables

Figure 1 - An example of a dictionary fragment for building a fuzzy knowledge base

Figure 2 - An example of a knowledge module with a formula calculation engine

Figure 3 - Structural diagram of a formal neuron

Figure 4 - The simplest single layer neural network

Figure 5 - Functional neural network model

Table 1 - An example of a knowledge module of the linguistic variable "age of a person"

References

- [1] **Batyrshin IZ, Nedosekin AO, Stetsko AA, Tarasov VB, Yazenin AV, Yarushkina NG.** Fuzzy hybrid systems. Theory and Practice [In Russian]. Ed. N.G. Yarushkina. Moscow: FIZMATLIT. 2007. 208 p.
- [2] **Yarushkina NG.** Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems [In Russian]. Moscow. Finance and Statistics, 2004. 320 p.
- [3] **Shtovba SD.** Design of fuzzy systems by means of MATLAB [In Russian]. Moscow: Hotline - Telecom. 2007. 288 p.
- [4] **Rutkovskaya D, Pilinsky M, Rutkovsky L.** Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems [In Russian]. Moscow: Hotline-Telecom, 2008. 383 p. ISBN 5-93517-103-1.
- [5] **Rutkovsky Leszek.** Artificial neural networks. Theory and practice [In Russian]. Moscow: Hotline-Telecom, 2010. 520 p. ISBN 978-5-9912-0105-6.
- [6] **Uskov AA, Kuzmin AV.** Intellectual control technologies. Artificial neural networks and fuzzy logic [In Russian]. Moscow: Hotline-Telecom, 2004. 143 p.
- [7] **GolubevYuF.** Neural network methods in mechatronics [In Russian]. Moscow: Publishing house of Moscow University, 2007. 157 p. ISBN 978-5-211-05434-9.
- [8] **Haykin S.** Neural Networks: A Complete Course = Neural Networks: A Comprehensive Foundation [In Russian]. 2nd ed. Moscow: Williams, 2006. 1104 p. ISBN 0-13-273350-1.
- [9] **Gladkov LA, Kureichik VV, Kureichik VM.** Genetic algorithms [In Russian]. 2nd ed. Moscow: Fizmatlit, 2006. 320 p. ISBN 5-9221-0510-8.
- [10] **Ulyanov SV, Litvintseva LV, Dobrynin VN, Mishin AA.** Intelligent robust control: soft computing technologies [In Russian]. Moscow: VNIIGeosystem, 2011. 406 p.
- [11] **Hutter Marcus.** Universal Artificial Intelligence. Berlin: Springer. 2005, ISBN 978-3-540-22139-5.
- [12] **Tarasov VB.** From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics [In Russian]. Moscow: Editorial URSS, 2002. 352 p.
- [13] **Evgenev GB.** Expertopedia as a means of creating an ontological Internet of knowledge [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(3): 7-23. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-7-23.
- [14] **Evgenev GB,** ed. Basics of automation of technological processes and production. T.2: Methods of design and management [In Russian]. Moscow, Publishing house of MSTU named after N.E. Bauman, 2015. 479 p.
- [15] **Zade L.** The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions [In Russian]. Moscow: Mir, 1976. 166 p.

About the author

Georgy Borisovich Evgenev (b. 1938) graduated from Moscow aviation technological Institute in 1960, PhD (1964), Doctor of engineering (1975). He is the winner of the Prize of the Council of Ministers of the USSR (1991). He is a Professor at BMSTU and a member of the Russian Association for Artificial Intelligence. He is a co-author of about 150 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI. Author ID (RSCI): 17685. g.evgenev@mail.ru.

Received September 17, 2020. Revised February 1, 2021. Accepted March 5, 2021.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.82

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103

**Онтология пользовательских интерфейсов
в кибернетической модели интеллектуальных систем****К.И. Костенко, В.Ю. Белкин***Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия***Аннотация**

Предложена модель интеллектуальной системы, поддерживающей высокоуровневое управление процессами профессионального применения многообразия знаний о программных интерфейсах с внешними пользователями. Унифицированная абстрактная модель системы базируется на согласованном семействе инвариантов модели формализма представления знаний, включающем: систему классов морфизмов абстрактных знаний и доменов морфизмов таких классов; инвариантов многомерной архитектуры компонентов интеллектуальных систем, включающей межкомпонентные потоки знаний и процессы синтеза знаний внутри компонентов; инвариантов агентов управления потоками и процессами обработки абстрактных знаний. Базу знаний модели составляют фрагменты онтологии предметных и профессиональных знаний, распределённые между компонентами многомерной архитектуры. Архитектура компонентов модели опирается на значения измерений, соответствующих аспектам абстрактности, структурированности и уровня знаний. В онтологиях отражаются представления о структурах памяти и процессах мышления, применяемых для моделирования схем профессиональной деятельности специалиста. Основой формализации таких представлений являются фундаментальные понятия философии, лингвистики, когнитивной психологии, математики, инженерии систем. Это позволяет сформировать содержательно полную систему классов информационных структур и процессов синтеза сложных знаний, поддерживающих извлечение, анализ и применение знаний о пользовательских интерфейсах в интеллектуальной системе. Процессами синтеза моделируется достижение разнообразных когнитивных целей, необходимых для осуществления профессиональной деятельности специалистов. Многообразие таких целей моделируется системой шаблонов высокоуровневой реализации. Они составлены из целей базовых типов, реализуемых с использованием когнитивных операций над знаниями, синтезируемыми из элементов онтологий. В качестве унифицированного представления знаний применяются структуры знаний в формате семантических иерархий. Когнитивные цели реализуются комбинациями операций над структурированными знаниями, адаптированными к специальным классам структур.

Ключевые слова: интеллектуальная система, пользовательский интерфейс, онтология, измерение знаний, поток знаний, когнитивная цель.

Цитирование: Костенко, К.И. Онтология пользовательских интерфейсов в кибернетической модели интеллектуальных систем / К.И. Костенко, В.Ю. Белкин // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С.89-103. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103.

Введение

Фундаментом полнофункционального моделирования процессов интеллектуальной деятельности в искусственных системах являются семейства понятий, разрабатываемых в разных областях знаний [1-5]. Они связаны со структурами представления знаний и операциями их обработки, позволяющими реализовать разные подходы к организации памяти и процессов мышления. Следствием слабой формализованности подходов является невозможность

создания интеллектуальных систем (ИС), реализующих содержательно полные многообразия процессов интеллектуальной деятельности, основываясь на адаптации отдельных и ограниченных моделей. Требуется общая математическая модель ИС, ядро которой составляют формализуемые аспекты сущностей разных областей знаний. Согласованная формализация инвариантов широкого спектра моделей вызвана потребностями развития интеллектуальных технологий. Основу формализации составляют аналоги понятий и порождающих принципов в различных областях математики. Они включают специальные классы структурированных объектов и операций (морфизмов) над объектами из этих классов. Инварианты прикладной ИС, моделирующей определённые аспекты мышления специалиста в выбранной предметной области (ПрО), являются конкретизациями абстрактных понятий, связанных с представлением знаний и алгоритмическим моделированием процессов решения профессиональных задач.

Унифицированными источниками формализованных инвариантов ИС являются абстрактные модели формализма представления знаний, многомерного пространства компонентов и процессов потоков знаний в нём, агентов управления жизненными циклами (ЖЦ) таких систем. Согласованное представление и совместное использование знаний из разных областей позволяет считать междисциплинарной всякую модель ИС, основанную на таких инвариантах. При этом достигается содержательная полнота и универсальность общей абстрактной модели.

1 Формализмы представления знаний

Формализмы представления знаний реализуют унифицированный подход к моделированию форм представления, сравнения и обработки знаний в ИС. Всякий формализм определяется как четвёрка $\mathfrak{Z} = (M, D_M, \circ, \prec)$. Здесь M – перечислимое множество абстрактных знаний, D_M – перечислимое множество фрагментов знаний, $\circ: M \times M \rightarrow M$ – вычислимая композиция фрагментов, а \prec – разрешимое отношение вложения фрагментов знаний ($\prec \subseteq D_M \times D_M$). Элементом M является пустое знание Λ . Предполагается, что M является разрешимым подмножеством D_M . Если $z_1 \circ z_2 = \Lambda$, то такая композиция фрагментов знаний z_1 и z_2 рассматривается как не имеющая содержания. Знание называется элементарным, если оно не представляется композициями других знаний. Алгебраической структурой знания называется всякое бинарное дерево, представляющее комбинацию композиций заданных знаний, равную этому знанию. Внутренние вершины такой структуры размечены операцией композиции, а висячие – фрагментам знаний.

Важным классом формализмов являются формализмы семантических иерархий [6, 7]. Знания в таких формализмах представляются конечными бинарными деревьями. Они называются полными структурными представлениями (ПСП) знаний. Висячие вершины деревьев размечаются элементарными знаниями. Всякая внутренняя вершина дерева размечена отношением, выполняющимся между знаниями, представленными левым и правым поддеревьями этой вершины. Важным свойством формализмов семантических иерархий является единственность алгебраической структуры всякого непустого знания, которой соответствует единственное размеченное бинарное дерево представления знания в формате семантической иерархии. Такой формат удобен для моделирования семантических структур сложных знаний, включая сравнения вложения и операции над знаниями, являющиеся аналогами операций из разных разделов абстрактной математики. Множество элементарных знаний в рассматриваемых формализмах обозначается как M_0 . Множество простых знаний (обозначается как M_1) составляют знания ПСП, которые имеют глубину 1. Такие знания являются аналога-

ми троек *RDF* (*Resource Description Framework*). Они применяются для представления элементов онтологий ПрО как основы реализации ЖЦ и процессов в ИС.

Использование формата семантических иерархий связано с моделированием содержания памяти компонент ИС. Такое содержание представляется развиваемыми структурами сложных знаний, задаваемых специальными формулами организации памяти. Последние задаются как комбинации специальных классов (баз) структурных представлений знаний в формате семантических иерархий, составляемых с использованием специальных операций над базами. Примерами таких классов являются множества структурных представлений знаний (Σ), множества знаний представлениями заданной глубины k (Σ_k), окрестности знаний разных радиусов (O), неупорядоченные и линейно упорядоченные серии знаний из разных классов (S и L) [8]. Регулярные структуры семантических представлений в памяти ИС конструируются с использованием операций суммы (\oplus) и произведения (\otimes) баз или регулярных выражений. Выражения $S \otimes \Sigma_1$ и $(S \otimes \Sigma_1) \oplus (S \otimes \Sigma)$ обозначают множества параллельных серий простых знаний и прямую сумму серий простых и произвольных знаний. Первое из приведённых выражений естественно для описания структур памяти, применяемых для представления онтологий. Второе выражение используется при моделировании процессов пошагового синтеза знаний, реализуемых как эволюции знаний. Первая серия таких процессов представляет развиваемое во времени описание ситуации решаемой задачи в форме серии простых знаний ($S \otimes \Sigma_1$). Второй серией реализуется процесс синтеза семантической структуры знания, реализуемой пошагово в дискретном времени ($S \otimes \Sigma$). Такие процессы определяют унифицированный формат реализации ЖЦ ИС для развиваемых во времени исходных данных отдельных процессов.

2 Многомерная архитектура интеллектуальных систем

Унифицированная структура ИС связана с измеримыми универсальными аспектами знаний. Они позволяют формировать многообразие знаний как систему классов с одинаковыми наборами значений аспектов. Каждый такой класс определяет компоненту архитектуры ИС.

Количество измерений и множества значений для отдельных измерений (квантов измерений) определяется ПрО ИС. Наборы значений квантов выбранной системы измерений определяют многомерную структуру пространства знаний, а также универсальную абстрактную модель архитектуры ИС. Примерами измерений знаний являются качественные свойства знаний, представляемые понятиями абстрактности, структурированности, уровня и времени [5]. Измерение глубины знаний с квантами значений *поверхностный*, *алгоритмический* и *метаалгоритмический* неявно содержатся в концепции уровней интеллектуальных процессов [1]. Примерами квантов измерения структурированности знаний являются: *целостный* (*неструктурированный*), *частично структурированный* и *полностью структурированный*. Множества квантов измерений уровня и времени связаны со значениями: *начальный*, *профессиональный*, *аналитический*; и *прошедший*, *настоящий*, *будущий*. Система выбранных измерений вместе со значениями квантов измерений применяется далее для моделирования прототипа ИС, управляющей знаниями специалиста в области программных интерфейсов пользователей. Указанная область допускает полное и явное представление содержания в форме онтологии, применяющей ограниченные семейства классов и отношений. Пример совместного изображения элементов многомерного пространства для первых трёх измерений в форме трёхмерной сотовой структуры приведён на рисунке 1.

Здесь $D_1 = \{A, B, C\}$, $D_2 = \{1, 2, 3\}$ и $D_3 = \{I, II, III\}$ – упорядоченные множества имён для значений измерений глубины, структурированности и уровня знаний. Смещения приведённой

структуры по аналогичному множеству значений квантов измерения времени $D_4 = \{\alpha, \beta, \gamma\}$ формирует структуру четырёхмерного пространства. Элементы последней структуры представляются наборами из $D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4$. Им соответствуют классы близких по значениям рассматриваемых аспектов знаний. Классы обозначаются с помощью наборов значений квантов используемых измерений. Наборы (x, y, z, v) и (p, q, r, s) называются соседними, если каждый из них получается из другого изменением ровно одного кванта на соседний с ним в соответствующем измерении. Отношение соседства элементов формирует базовую структуру рассматриваемого многомерного пространства. С этой структурой связаны схемы построения и управления ЖЦ ИС. Отдельный элемент рисунка, обозначаемый как Т, соответствует внешнему дополнению ИС.

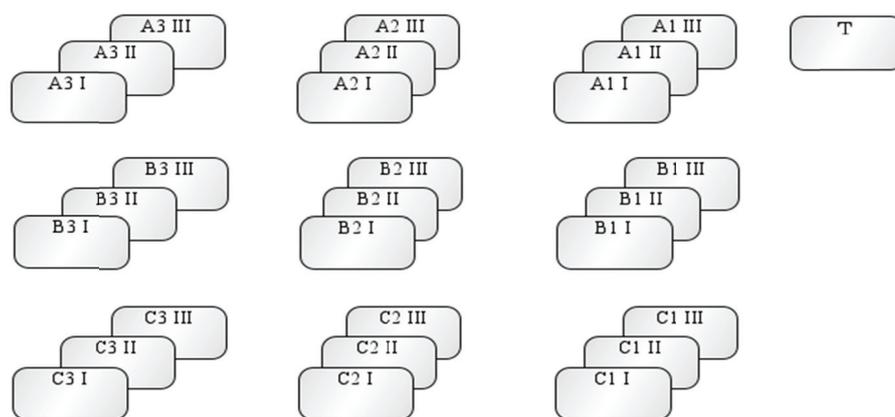


Рисунок 1 – Трёхмерная сотовая структура интеллектуальной системы

С каждым элементом многомерной структуры измерений знаний связана компонента архитектуры ИС. Элементом структуры всякой компоненты архитектуры ИС является область памяти. Формат последней уточняется формулой памяти как комбинация типовых классов структур знаний в формате семантических иерархий, составленных с помощью операций суммы и произведения баз. Одним из фрагментов структуры памяти является онтология компоненты. Она представляется как серия простых знаний в базе $S \otimes \Sigma_1$. В памяти компоненты размещаются представления знаний, конструируемых и обрабатываемых при моделировании процессов, которые реализуются в этой компоненте, а также знаний, перемещаемых между компонентами ИС при реализации потоков знаний. Пример онтологии процессов, реализуемых в компонентах ИС, приведён в [6]. Потоки знаний моделируют ЖЦ ИС. Они представляются именованными последовательностями операций переноса знаний между соседними компонентами, дополненными трансформациями перенесённых знаний внутри компонент. Перенос знаний реализуется как перевод знания в формализме компоненты источника в формат знания компоненты, в которую переносится знание. Другие разделы структуры памяти предназначены для реализации процессов синтеза знаний в формате формализма, применяемого в компоненте. Там же размещаются представления знаний, передаваемых в компоненту из других компонент и используемые совместно с онтологией в памяти этой компоненты.

3 Управление интеллектуальными системами

Управление активацией и последующей реализацией ЖЦ ИС выполняется специальными функциональными сущностями. Они называются агентами ИС. Агенты составляют осно-

ву кибернетического аспекта унифицированного подхода к разработке ИС на базе универсальной абстрактной модели таких систем. Модель агентов дополняет модели формализма представления знаний и многомерных структурных организаций таких систем механизмами их самостоятельного функционирования. Этим обеспечивается возможность субъектного существования ИС, взаимодействующего с объектами внешнего дополнения ИС. Абстрактное моделирование систем агентов ИС согласуется с принципами математического конструирования в общей теории систем [4].

Формула структурной организации памяти компонент ИС позволяет задавать множество алгебраических структур знаний в качестве множеств исходных данных и результатов отдельных шагов функционирования агентов. Она представляет множество возможных структур представления знаний в памяти компоненты ИС, используемых как исходные данные и формируемых (изменяемых) агентами. Множество состояний агента составляет собственную память этого агента. В каждый момент времени агент находится в одном из своих состояний. Состояние влияет на функционирование агента и функционально изменяется агентом за один шаг работы. Многообразие активированных агентов изменяется во времени. Оно структурировано отношениями, связывающими экземпляры активированных агентов разных типов и применяемыми для управления совместным функционированием агентов.

Унифицированный классификатор агентов связан с группированием агентов в семейства агентов управления агентами и агентов управления памятью ИС. Агентами управления моделируются активация и деактивация агентов управления потоками знаний. Класс таких агентов обозначается как AC . Агенты активации распознают ситуации, при которых в ИС может или должен быть реализован конкретный ЖЦ системы. Если это так, то соответствующий агент активирует соответствующее семейство новых агентов, которые управляют процессами реализации актуальных ЖЦ ИС. Активированные агенты наделяются атрибутами, уточняющими условия их функционирования. К ним относятся области памяти компонентов, в которых содержится описание моделируемых ЖЦ ИС. Состояния агента $\alpha \in AC$ позволяют управлять параметрами агентов, активированных этим агентом.

Другой класс агентов управления агентами (обозначается как AF) составляют агенты управления этапами реализации потоков знаний. Экземпляры агентов этого класса активируются агентами из AC . Каждый агент $\beta \in AF$ управляет реализацией конкретного потока знаний. Она основана на описании потока в онтологии соответствующей компоненты архитектуры ИС. Функционирование агентов данного класса связано с активациями агентов двух типов. Первые отвечают за реализацию операций переноса знаний между компонентами архитектуры ИС. Вторые – за реализацию отдельных этапов обработки знаний, реализуемых в компонентах архитектуры ИС.

Агенты управления памятью осуществляют пошаговое моделирование операций по изменению информации, размещаемой компонентами архитектуры ИС. Класс таких агентов обозначается как AM . Изменения содержания памяти компонент определяются двумя основными формами реализации этапов процессов в ИС. Первая относится к пошаговому синтезу семантических представлений в памяти компонент ИС. Возможная схема моделирования такой реализации в памяти компоненты основана на применении инварианта эволюции знаний как развиваемой во времени последовательной серии структурированных представлений знаний. Изменения содержания памяти согласованы с последовательным выполнением действий, предписываемых описаниями диаграмм процессов.

Вторая форма изменения содержания памяти относится к размещению в памяти отдельных компонент образов знаний, переносимых в компоненту из предшествующей компоненты потока. Активированный для этого агент управляет выбором морфизма трансформации

переносимого знания в новый формат и размещением преобразованного знания в памяти следующей компоненты потока. Агенты управления памятью активируются агентами из AF .

К более сложным агентам управления памятью относятся агенты управления моделями организации памяти компонент. Агенты этого класса изменяют форматы памяти компонент архитектуры ИС при переходе к новой структуре отдельных фрагментов. Для этого применяются операции изменения структурной организации памяти, в том числе связанные с анализом и удалением избыточных или неактуальных знаний, синтезированных при реализации потоков и процессов обработки знаний.

Общий формат описания произвольных агентов содержит сведения, достаточные для моделирования в целом процессов функционирования агентов в дискретном времени существования ИС. Параметрами таких описаний являются инварианты многомерной архитектуры и организации памяти ИС, а также собственные инварианты агентов. Общие формализованные описания приведённых классов агентов и их подклассов определяют возможные многообразия агентов ИС.

Всякому типу агентов можно поставить в соответствие вычислимое отображение $f_A : M \times Q \rightarrow M \times Q \times O$. Здесь A – тип агента; Q – пересчитываемое множество состояний агента; M – пересчитываемое множество значений содержания памяти ИС; O – пересчитываемое множество операций, реализуемых отдельными агентами. Множество M составляют комбинации элементов баз морфизмов одного или нескольких формализмов знаний. Примерами дополнительных операций агентов являются активация, деактивация, удаление экземпляров агентов разных типов, а также изменение содержания или структуры памяти, фиксирующее размещение результата шага обработки или переноса знаний.

Архитектура агентов обеспечивает унификацию механизмов реализации функционирования ИС как кибернетической системы. Развитая система схем функционирования агентов допускает разные форматы согласованного управления системой активных агентов. В основе таких схем лежит общее дискретное время, общие форматы структурной организации памяти и дискретная структура потоков и процессов, реализуемых агентами.

4 Онтология профессиональных знаний области программных интерфейсов

Онтология некоторой ПрО реализуется в виде связанного семантического представления, содержащего описание свойств и отношений между концептами, используемыми для моделирования процессов решения профессиональных задач в рассматриваемой области. За основу проектирования онтологий принята модель карт знаний формализованного контента. Карта знаний представляется нагруженным ориентированным графом. Каждой вершине графа соответствует множество элементарных знаний M_0 применяемого формализма знаний. Семантические отношения, связывающие элементы классов, представляются ориентированными дугами, соединяющими соответствующие классы. Дуги размечены именами отношений между классами.

Основу процессов проектирования и заполнения конкретных онтологий составляют операции формирования иерархий разделов онтологии и отдельных классов в них. Для этого используются операции добавления, удаления, расщепления и слияния классов и отношений между классами. Они позволяют трансформировать исходную структуру онтологии, представленную классом всех сущностей *Things*, в карту знаний с иерархической структурой системы областей. Теоретическим фундаментом проведения трансформаций системы концептов онтологии (имён классов и отношений) в модель онтологии ПрО является формальный анализ понятий. Имена классов и отношений соответствуют элементарным знаниям в применяемом формализме знаний. Для реализации онтологии в форматах памяти компонент ар-

хитектуры ИС можно использовать серии простых знаний, которые создаются путём указаний принадлежности классам отдельных элементов (моделируется простыми знаниями вида $a \in C$), а также связыванием элементов классов заданными отношениями, а также знаний вида $A \subseteq B$, где A и B – это классы.

В качестве элементарных знаний онтологии формализованного контента используются имена понятий и формализованные выражения, принятые в моделируемой ПрО. Также применяются не типизированные объекты, которыми представляются слабо структурированные и слабо формализованные сущности, применяемые в качестве элементов синтезируемых семантических структур. К формализованным выражениям относятся разнообразные математические формулы и формализованные описания алгоритмов и программ.

Построение фрагмента онтологии *Пользовательские интерфейсы* области знаний *Информатика* показано на рисунках 2-6. Начальный фрагмент системы концептов понятия *Интерфейс* приведён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Концепты содержания понятия *Интерфейса*

Структуры концептов, показанных на рисунке 2, приведены на рисунках 3-5.

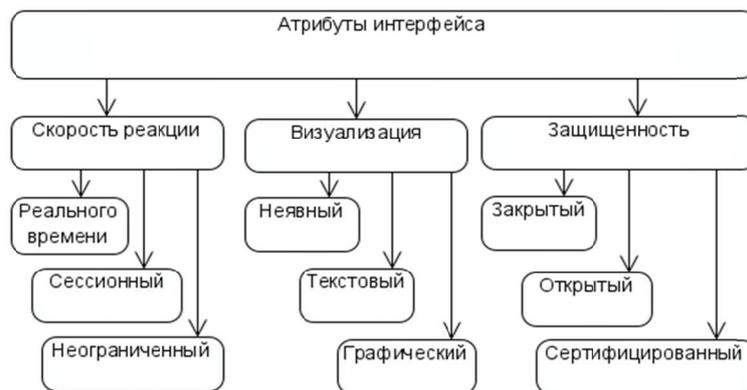


Рисунок 3 – Структура концептов содержания понятия *Атрибуты интерфейса*

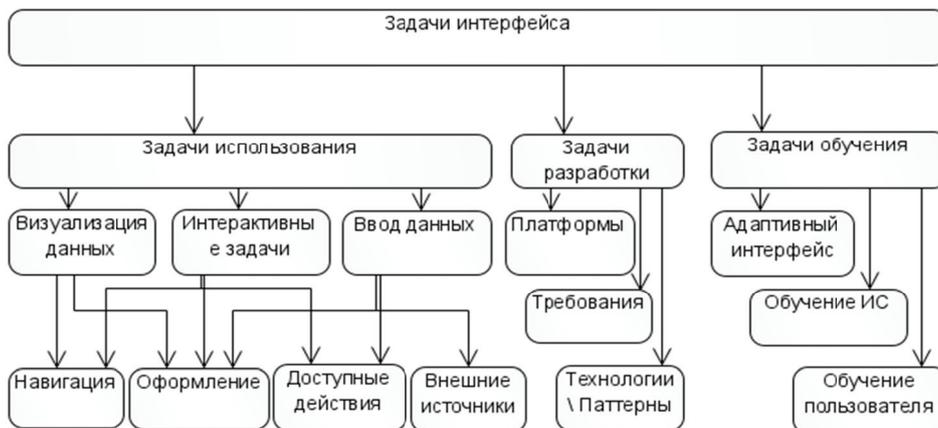


Рисунок 4 – Структура концептов содержания понятия *Задачи интерфейса*

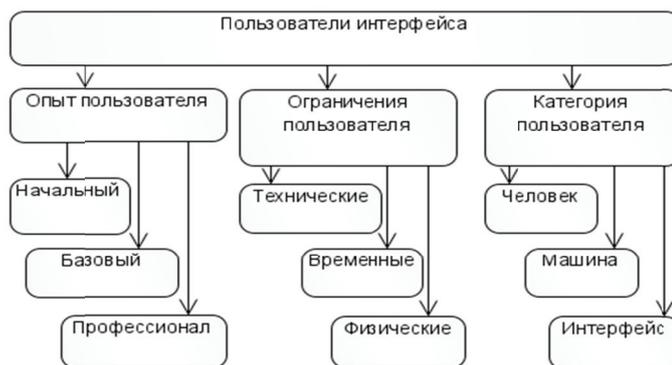


Рисунок 5 – Структура концептов содержания понятия *Пользователи интерфейса*

Содержание приведённых понятий ассоциируется с семействами специальных понятий, относящихся к разнообразным представлениям об атрибутах, свойствах, принципах, задачах и пользователях программных интерфейсов.

Фрагмент онтологии пользовательского интерфейса изображён на рисунке 6.

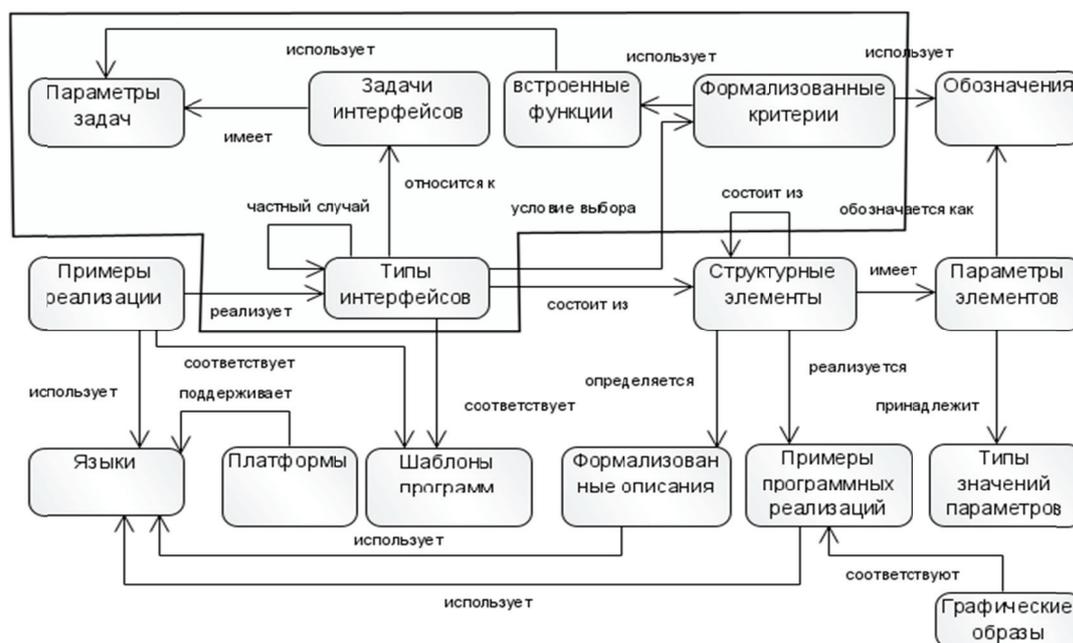


Рисунок 6 – Фрагмент онтологии пользовательского интерфейса

Приведённый фрагмент онтологии относится к компоненте $B3$ двумерной структуры таких систем $D_1 \times D_2$ (см. рисунок 1). Он содержит знания, позволяющие конструировать структуры знаний, используемые для моделирования процессов консультирования, обучения, качественного оценивания и экспертизы в области пользовательских интерфейсов.

Классы приведённого фрагмента онтологии распределяются по трём отдельным областям. Область, ограниченная специальной линией, интегрирует элементарные знания о задачах, классификации и критериях выбора пользовательских интерфейсов. Другие области интегрируют знания о структурных элементах интерфейсов и реализациях интерфейсов разных типов с использованием различных языков и программных платформ. Можно привести следующие примеры профессиональных задач, реализуемых ИС.

- Вопросно-ответное консультирование, состоящее в синтезе и предоставлении фрагментов ПрО, содержащих ответ на вопросы, описывающие конкретные ситуации.

- Передача знаний (обучение) в области программирования пользовательских интерфейсов, адаптированных к профессиональному уровню, опыту и потребностям обучаемых.
- Проектирование структуры и элементов формализованного описания пользовательских интерфейсов на основе слабо формализованных требований к нему с использованием и адаптацией подходящих шаблонов.
- Комментированный анализ (экспертиза) представленного фрагмента текста программы, реализующей элементы пользовательского интерфейса.

В двумерной архитектуре ИС $D_1 \times D_2$ описание системы задач представлено в содержании онтологии компоненты C_3 . В ней аккумулируются абстрактные знания, относящиеся к когнитивным целям и абстрактным операциям над знаниями, осуществляемым в профессиональной деятельности специалистов ПрО. Концепты когнитивных целей и операций соответствующего фрагмента онтологии приведены на рисунке 7.

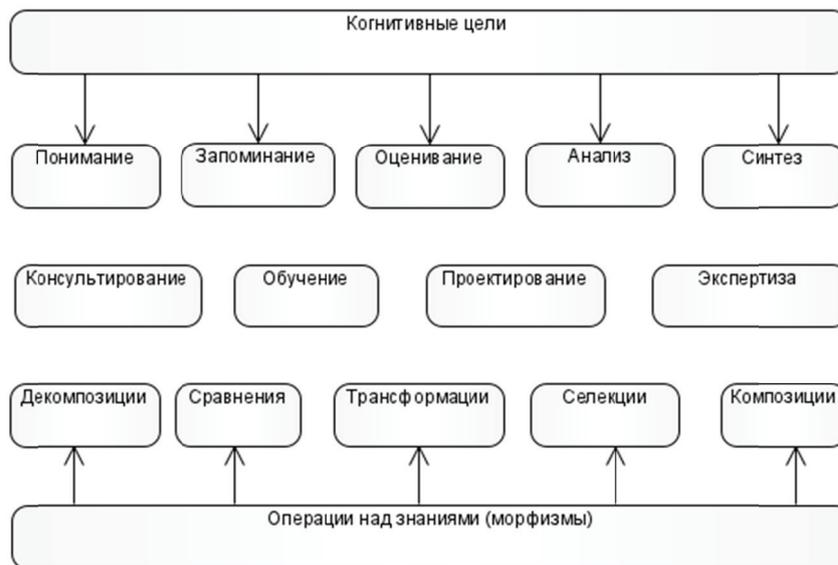


Рисунок 7 – Концепты когнитивных целей и операций

Основой схем решения каждой из указанных задач являются потоки знаний. Ими реализуются последовательности переноса знаний между компонентами архитектуры ИС для разных этапов решения задач. В таких последовательностях этапы переноса чередуются с этапами обработки знаний в соответствующих компонентах архитектуры ИС. На этапе обработки знаний осуществляют синтез семантических структур, формируемых внутри соответствующих компонент ИС из знаний онтологии компоненты, а также структурированных знаний, переносимых из предыдущих компонент потоков. Фрагмент, содержащий описание потоков, реализуется в онтологии компоненты B_3 . Исходные данные каждой из рассматриваемых задач переносятся в эту компоненту из компоненты A_1 . Структура результата реализации применяемой схемы обработки знаний переносится потоком в следующую компоненту.

Элементы данной структуры можно рассматривать как результат интеграции и обработки знаний с совпадающими значениями квантов измерений D_1 и D_2 .

Примером описания задач консультирования является конструкция вида *Объяснить фрагмент программы (P)*. Здесь P – формализованное выражение, содержащее рассматриваемый фрагмент программы. Решение данной задачи связано с реализациями когнитивных целей понимания и применения знаний [6, 9]. Первая из целей связана с развёртыванием сложного знания иерархической структуры. В нём интегрируются и совместно обрабатываются разнообразные сведения о понятиях и формальных выражениях. Основные этапы син-

тезатакого знания моделируют схемы мышления специалистов. Последовательность этапов может включать:

- 1) распознавание языка, в котором реализован предложенный фрагмент программы (для этого анализируются служебные слова разных языков, относящиеся к интерфейсам);
- 2) покрытие текста P иерархией фрагментов, составляющих законченные описания элементов интерфейсов, дополненные формальными описаниями и графическими образами примеров описаний, поддерживающими возможность разъяснения получаемой структуры P ;
- 3) анализ синтаксической правильности фрагментов, основанный на проверке возможности порождения фрагментов с помощью формальных описаний;
- 4) оценка качества реализации P , основанная на полученной структуре P с шаблонами программных интерфейсов.

Реализация каждого из приведённых этапов соответствует фрагменту диаграммы процесса, основанному на моделировании последовательностей операций обработки знаний [8].

Решение задачи обучения связано с формированием структуры информационных объектов (понятий, формул, изображений, комментариев), визуализация которого позволяет организовать управляемое обучение в области *программных интерфейсов пользователей*.

Задача проектирования основывается на получении и использовании значений критериев выбора шаблонов интерфейсов. Для этого выполняется уточнение списка требований к параметрам разрабатываемого интерфейса, представленных как начальные данные.

Экспертиза программ, заданных своими формализованными описаниями (формулами), состоит в реализации цели оценивания [10]. Она включает оценку профессионального уровня и опыта разработчика, соответствия программы заданным требованиям. Для реализации таких целей операций существенно применение морфизмов сравнения.

5 Потоки и процессы знаний интеллектуальной системы

Система потоков знаний ИС формирует многообразие ЖЦ системы. Основой каждого цикла являются знания, размещённые в компонентах, а также описания исходных ситуаций трансформируемых и переносимых потоками знаний в ИС. Эмпирическая классификация базовых потоков в ИС включает потоки: анализа и трансформации внешних информационных объектов, развития онтологии области знаний и модели когнитивных структур и процессов, реализуемых в ИС. Формальная модель потока ИС включает описания шаблона потока, диаграмм процессов, реализуемых в компонентах, через которые проходит поток, а также операций трансформации знаний и переноса знаний между компонентами [5].

Потоки, реализующие отдельные типы ЖЦ ИС, демонстрируют особенности адаптации конструкций абстрактной модели ИС к свойствам ПрО. Конструкции потоков соответствуют двумерной структуре ИС $D_1 \times D_2$. Система нумерованных потоков для целей извлечения и профессионального применения знаний приведена на рисунке 8.

Поток с номером 1 моделирует процессы обработки первичной информации, содержащей знания во внешних форматах или описание ситуаций решаемых задач. Результаты реализации потока добавляются в онтологию, представленную в компоненте ВЗ. Поток моделирует прохождение последовательности соседних вершин двумерной структуры $A1-A2-A3-B3$. Здесь $A1$ – вершина начала потока, а $B3$ – вершина завершения потока. Область памяти вершины $A1$ содержит целостные образы информационных объектов, реализованных во внешнем формате представления, принятом среди специалистов рассматриваемой ПрО.

Каждой вершине потока соответствует диаграмма процесса, реализуемого в соответствующей компоненте ИС. Описания диаграмм и условия выбора составляют фрагменты он-

тологии компоненты. Реализация всякого процесса завершается формированием результата. Он представляется алгебраической структурой знания для формализма представления знаний, применяемого в этой компоненте.

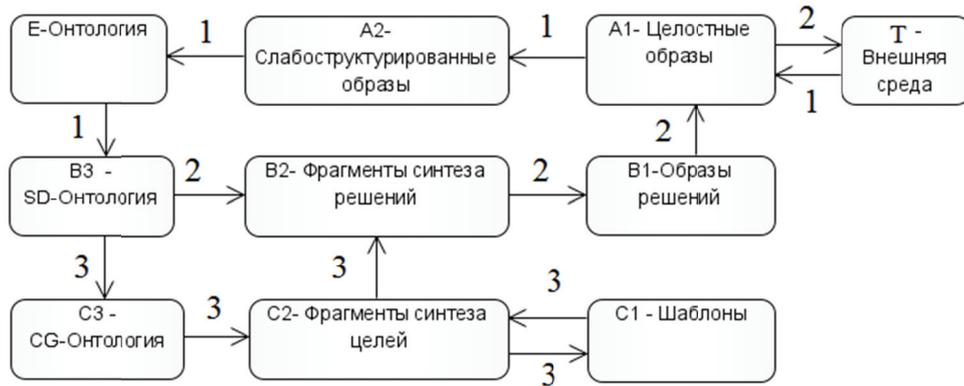


Рисунок 8 – Поток целей извлечения и профессионального применения знаний

В общем случае формализмы знаний, соответствующих разным компонентам ИС, могут различаться. Поэтому при переносе фрагмента в следующую компоненту потока может потребоваться изменение формата представления. Параметром переноса является область памяти компоненты, в которой размещается переносимая структура знаний. Полный формат описания потока знаний имеет вид, представленный на рисунке 9.

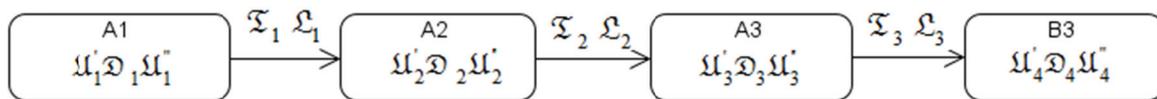


Рисунок 9 – Поток знаний обработки содержания внешних ресурсов

Структуру приведённого описания составляют однородные фрагменты двух типов. Фрагменты первого типа соответствуют компонентам. Они представляются в виде $U_i D_i U_i$, где U_i – условие активации этапа потока, D_i – условие выбора диаграммы, реализуемой в компоненте, а U_i – условие успешности завершения выполнения этапа потока знаний в этой компоненте. Фрагменты второго типа размечают рёбра потока и обозначаются как $T_i L_i$. Здесь T_i – отображение преобразования формата переносимого знания, а L_i – правило выбора формата и размещения переносимого знания в области памяти следующей компоненты потока. Конструирование потоков в прикладных ИС допускает использование упрощённых схем.

Описания потоков и диаграмм процессов относятся к данным, применяемым агентами, управляющими реализацией потоков и этапов потоков. Функционирование агентов поддерживает пошаговое моделирование потоков и процессов. Элементы управления, применяемые агентами, предполагают использование инструментов обработки выражений формализованного математического языка, что обеспечивает универсальные возможности моделирования процессов в ИС.

Содержание решения конкретных профессиональных задач определяется структурами потоков и применяемых диаграмм. Их формальные описания основаны на операционной семантике используемых функциональных конструкций. Особенности ПрО отражаются в онтологии её содержания.

Содержание обработки каждого ресурса в компоненте $A2$ состоит в преобразовании слабо структурированного представления ресурса из внешнего формата в структурированное представление. База знаний компоненты $A2$ содержит онтологию процессов компоненты и параметров управления процессами. Области такой онтологии аккумулируют предметные и профессиональные знания, используемые для последовательной декомпозиции ресурсов во внешних форматах представления на фрагменты, а также связывания результатов декомпозиций с помощью семантических отношений. Для обработки внешних ресурсов, составленных с использованием разных форматов представления, применяются разные области онтологии. Глубина и полнота декомпозиции связаны с выбором диаграммы процесса, определяемой соответствующим условием в описании потока. Результат декомпозиции подготавливается к передаче в компоненту $A3$. Преобразование полученной структуры в формат представления знаний в $A3$ включает замены внешних имён на внутренние, а также удаление фрагментов структур, не ассоциируемых с элементами онтологии данного компонента.

Два других потока знаний в ИС (2 - реализации профессиональной задачи и 3 - синтеза шаблона такой реализации) представляются последовательностями соседних компонент архитектуры ИС: $B3-B2-B1-A1$ и $B3-C3-C2-B2$. Второй поток реализует универсальную схему алгоритмического решения профессиональной задачи, представленную этапами:

- 1) распознавание и активация задачи, извлечение фрагмента SD -онтологии, применяемого для её решения в качестве начального данного;
- 2) перемещение полученной структуры в компоненту $B2$ для моделирования процесса синтеза структуры знания, составляющей решение распознанной профессиональной задачи;
- 3) синтез решения в компоненте $B2$ с помощью выбранной диаграммы процесса;
- 4) перемещение найденного решения в $B1$ с использованием подходящего трассирования ПСП синтезированных знаний [8];
- 5) обработка полученного решения в $B1$, связанная с интеграцией нового решения в экспертный опыт ИС, размещаемый в памяти указанной компоненты;
- 6) перемещение преобразованного решения в $A1$ с преобразованием структурированного внутреннего представления найденного решения во внешний формат представления знаний, принятый в соответствующей ПрО.

Третьим потоком моделируются ЖЦ ИС, относящиеся к метаалгоритмическому уровню абстрактного мышления [1]. Для него выполняется обработка знаний о когнитивных целях и операциях, применяемых для решения профессиональной задачи конструирования шаблона интерфейса реализации цели задачи. Полный вариант этого потока определяет последовательность: $B3-C3-C2-C1-C2-B2$. Она включает специальные этапы поиска фрагментов синтезируемого шаблона среди предопределённых шаблонов реализации когнитивных целей разных типов (реализуется в компоненте $C1$).

Многообразие абстрактных потоков в ИС реализуется специальной алгебраической системой. Множество потоков замкнуто относительно операции композиции. Данная операция выполняет замену этапа потока на поток, начальная и завершающая компоненты которого совпадают. Моделирование потоков в прикладной ИС основывается на конечном семействе базовых и вспомогательных потоков. Получаемые при этом модели абстрактных потоков имеют разный уровень возможностей трансформации в прикладные потоки с использованием операций гомоморфного расширения потоков.

Заключение

Трансформация абстрактных инвариантов ИС в элементы прототипов конкретных ИС затрудняется многочисленными содержательными аспектами ПрО. Это связано с

множественностью проявлений специфических свойств знаний, содержащихся в слабо формализованных моделях ПрО. Создание общей математической модели ИС связано с согласованной и сбалансированной интеграцией формализованных аспектов и свойств указанных моделей, трансформируемых в элементы прикладных систем. Использование инвариантов абстрактной математической модели на примере построения онтологии пользовательских интерфейсов приведено в данной работе.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект номер № 20-01-00289) и администрации Краснодарского края (проект номер № 19-41-230008).

Список источников

- [1] *Stanovich, K.E.* Rationality and the reactive mind / K.E. Stanovich. OxfordUniv. Press. 2011.
- [2] *Hermann, H.* Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language / Helbig Hermann, Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 2006.
- [3] *Burgin, M.* Theory of Knowledge: Structures and Processes / M. Burgin // World Scientific Series in Information Studies, Vol.5. 2017.
- [4] *Месарович, М.* Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. М.: Мир, 1978.
- [5] *Bloom, B.S.* Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals / B.S. Bloom, M.D. Engelhart, E.J. Furst, W.H. Hill, D.R. Krathwohl // Handbook 1: Cognitive domain. New York: David McKay. 1956.
- [6] *Kostenko, K.* Knowledge flows processes at multidimensional intelligent systems / K. Kostenko // Russian Advances in Artificial Intelligence: selected contributions to the Russian Conference on Artificial intelligence (RCAI 2020), Moscow, Russia, October 10-16, 2020, Vol. 2648, p.74-84.
- [7] *Kostenko, K.* The intelligent office engineering by rational and reactive mind invariants / K. Kostenko, A. Lebedeva, B. Levitskii // Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering, Moscow, Russia, 12-14 November 2019. 2514, 106-116.
- [8] *Костенко, К.И.* Операции когнитивного синтеза формализованных знаний / К.И. Костенко // Программная инженерия, Т.9, №4, 2018, с.174-184.
- [9] *Hammal, Y.* Formal techniques for consistency checking of orchestrations of semantic Web services / Y. Hammal, Kh.S. Mansour, A. Abdelli, L. Mokdad // Journal of Computational Science, Vol. 44, July 2020, p.1-17.
- [10] *Krathwohl, D.R.* Revising Bloom's taxonomy: An overview / D.R. Krathwohl // Theory into Practice. 41(4), 2002, p.212-218.

Сведения об авторах



Костенко Константин Иванович, 1957 г. рождения. Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 1980, канд. физ.-мат. наук. (1985). Доцент кафедры математического моделирования Кубанского государственного университета. ORCID: 0000-0002-9851-2455. AuthorID (RSCI): 18020. kostenko@kubsu.ru.

Белкин Виктор Юрьевич, 1979 г. рождения. Окончил Кубанский государственный университет в 2001 г. Ведущий программист управления информационных технологий Кубанского государственного университета. AuthorID (RSCI): 126215. belkin@kubsu.ru.



Поступила в редакцию 25.12.2020, после рецензирования 20.02.2021. Принята к публикации 15.03.2021.

User interfaces ontology in the cybernetic model of intelligent systems

K.I. Kostenko, V.Yu. Belkin

Kuban State University, Krasnodar, Russia

Abstract

A model of an intelligent system is proposed for implementing the control and professional use of a knowledge collections related to subject area of software interfaces with external users. The basis of formalization is an abstract model of an intelligent system. It is based on coordinated and balanced invariants of the knowledge representation formalism model. Invariants set includes classes of morphisms for abstract knowledge processing modelling with morphisms' domains, invariants of the multidimensional architecture of intelligent systems components, which includes inter-component knowledge flows and processes of knowledge synthesis within components, as well as invariants of control agents for abstract knowledge flows and processes within intelligent systems. The intelligent system knowledge base is presented as subject area ontology by non-ordered series of simple knowledge. Fragments of such ontology are distributed between components of intelligent systems three-dimensional architecture. The basis of such structure based on the dimensions of abstraction, structuring and the level of knowledge addressed to and processed within intelligent system's separate components. The ontologies reflect the ideas about the structures of memory and the processes of thinking used to model the schemes of the professional activity of a specialist. The basis for the formalization of such concepts is the fundamental principles of philosophy, linguistics, cognitive psychology, mathematics, and system engineering. This allows deploying a comprehensive system of classes of information structures and processes for complex knowledge synthesizing that support achievement of various cognitive goals implemented by specialists within professional tasks implementation processes. The goals system includes extraction, analysis and application of knowledge about user interfaces. The variety of such goals is modeled by a high-level implementation pattern system. They are composed of basic types of goals and are implemented using knowledge processing cognitive operations. Knowledge structures in the format of semantic hierarchies are used as a unified representation of knowledge. Cognitive goals are realized by combinations of operations on structured knowledge, adapted to special classes of structures.

Keywords: *intelligent system, knowledge dimension, ontology, knowledge flow, cognitive goal, user interface.*

Citation: *Kostenko KI, Belkin VYu. User interfaces ontology in the cybernetic model of intelligent systems [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(1): 89-103. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-89-103.*

Acknowledgment: This work was funded by RFBR (grant project number № 20-01-00289) and administration of Krasnodar territory (grant project number № 19-41-230008).

List of figures

- Figure 1 - The three-dimensional honeycomb structure of intelligent system
- Figure 2 - Content concepts of the Interface concept
- Figure 3 - The structure of the content concepts of the Interface attributes concept
- Figure 4 - The structure of the content concepts of the Interface tasks concept
- Figure 5 - The structure of the content concepts of the Interface tasks Users of the interface concept
- Figure 6 - Fragment of the user interface ontology
- Figure 7 - Cognitive goals and operations concepts
- Figure 8 - Streams of goals for knowledge extraction and professional application
- Figure 9 - Knowledge flow of processing the content of external resources

References

- [1] **Stanovich KE.** Rationality and the reactive mind. Oxford Univ. Press. 2011.
- [2] **Helbig H.** Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 2006.
- [3] **Burgin M.** Theory of Knowledge: Structures and Processes. World Scientific Series in Information Studies, Vol. 5. (2017).

- [4] **Mesarovich YM, Takahara Ya.** General Theory of the systems: mathematical Foundations [In Russian]. Moscow: Mir, 1978, 312 p.
 - [5] **Bloom BS, Engelhart MD, Furst EJ, Hill WH, Krathwohl DR.** Taxonomy of educational objectives: The classification Taxonomy of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain. New York: David McKay. 1956.
 - [6] **Kostenko K.** Knowledge flows processes at multidimensional intelligent systems. Russian Advances in Artificial Intelligence: selected contributions to the Russian Conference on Artificial intelligence (RCAI 2020), Moscow, Russia, October 10-16, 2020, Vol. 2648, p.74-84.
 - [7] **Kostenko K, Lebedeva A, Levitskii B.** The intelligent office engineering by rational and reactive mind invariants. Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering, Moscow, Russia, 12-14 November 2019, 2514, 106-116.
 - [8] **Kostenko KI.** Operations of formalized knowledge cognitive synthesis [In Russian]. *Programmnaia Ingenerija*, 2018; 9(4): 174-184.
 - [9] **Hammal Y, Mansour KhS, Abdelli A, Mokdad L.** Formal techniques for consistency checking of orchestrations of semantic Web services. *Journal of Computational Science*, 2020; 44(7): 1-17.
 - [10] **Krathwohl DR.** Revising Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*. 2002; 41(4):212-218.
-

About the authors

Konstantin Ivanovich Kostenko (b. 1957) graduated from Moscow State University (Moscow) in 1980, PhD (1985). He is an assistant professor at Kuban State University (Department of Computing technologies and applied mathematics) ORCID: 0000-0002-9851-2455. AuthorID (RSCI): 18020. kostenko@kubsu.ru

Victor Yurievich Belkin (b. 1979) graduated from Kuban State University (Krasnodar) 2001. He is a leading programmer at Kuban State University Department of information technologies. Author ID (RSCI): 126215. belkin@kubsu.ru

Received December 25, 2020. Revised February 20, 2021. Accepted March 15, 2021.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 629.7.05: 004.94

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-104-116

Подход к оценке сложных технических систем на ранней стадии разработки

А.В. Полтавский¹, С.С. Семенов²

¹ Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

² АО «Государственное научно-производственное предприятие «Регион», Москва, Россия

Аннотация

Рассматривается подход к оценке сложных технических систем на ранней стадии их разработки. В качестве сложных технических систем исследуются комплексы с многофункциональными беспилотными летательными аппаратами двойного назначения. Новизна работы заключается в комплексировании оценки путём структурирования методов и стохастических моделей анализа сложных технических систем в технологической компьютеризированной среде разработчика, выбора стратегии принятия решений на этапах предварительного проектирования, включающей метод экспертных оценок. На примере беспилотных летательных аппаратов показана технология выбора рационального варианта сложных технических систем из числа альтернатив сформированного модельного ряда с помощью информационно-аналитической системы. В информационно-аналитической системе реализована процедура многокритериальной оценки сложных технических систем, основанная на методах экспертных оценок. Получены первичные результаты комплексной оценки разведывательно-ударных и ударных комплексов многофункциональных беспилотных летательных аппаратов массой 0,3-2 т.

Ключевые слова: моделирование, сложная система, технический уровень, беспилотный летательный аппарат, оптимизация, качество.

Цитирование: Полтавский, А.В. Подход к оценке сложных технических систем на ранней стадии разработки / А.В. Полтавский, С.С. Семенов // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, № 1(39). – С. 104-116. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-104-116.

Введение

На ранних стадиях проектирования и анализа объектов двойного назначения используются методы, модели и алгоритмы оптимизации сложных технических систем (СТС), обеспечивающие заданные тактико-технические характеристики (ТТХ). При этом используются системы имитационного моделирования и поддержки принятия решений в среде информационно-аналитических систем (ИАС).

Качество объектов СТС определяется совокупностью характеристик и свойств, обуславливающих пригодность к удовлетворению определённых потребностей¹. Многообразие этих свойств определяет набор показателей качества. К ним относятся показатели, учитывающие назначение, надёжность, технологичность, стандартизацию и унификацию, транспортабельность, безопасность, а также эргономические, эстетические, экологические, патентно-правовые и экономические показатели объектов СТС. Кроме понятия качества продукции

¹ См. также ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (Издание с поправкой). Дата введения 2015-11-01. *Прим. ред.*

существует термин технический уровень (ТУ)², отражающий степень использования мировых научно-технических достижений для её создания. ТУ *определяется тем же составом показателей, что и качество продукции*, за исключением экономических показателей. Оценки показателей качества СТС получают на базе информационных моделей, адекватных процессам функционирования объектов СТС.

Динамично развиваются сегодня СТС – беспилотные многоцелевые летательные аппараты (БЛА), которые используются в различных странах мира.

В статье рассматриваются объекты комплекса БЛА (КБЛА) [1-4]. Многофункциональный КБЛА представляет совокупность взаимоувязанных в единую структурно-функциональную систему БЛА и наземных технических средств, обеспечивающих применение БЛА в воздухе, а также техническую эксплуатацию на земле. Структурный состав объектов для многофункциональных КБЛА может изменяться в зависимости от решаемых задач, их масштабов, видов действий и условий применения БЛА по назначению.

1 Технический облик беспилотных летательных аппаратов

Под техническим обликом БЛА понимается совокупность количественных показателей и параметров, количественно-качественных характеристик и свойств, определяющих конструктивно-аэродинамическую схему БЛА, его силовую установку, а также состав и характеристики свойств комплекса бортового оборудования и вооружения, обеспечивающая реализацию заданных ТТХ [5].

Многофункциональный КБЛА – это КБЛА, выполняющий функции разведки, доставки различных грузов, удара, ретранслятора, мониторинга пространства, патрулирования и др., который может использоваться в радиационной, химической, бактериологической обстановке. Эффективность КБЛА характеризуется степенью соответствия результатов проводимой операции и её цели, обуславливается показателями их качества и оценивается по критериям оптимальности. Особенности выбора многофункционального КБЛА, в том числе по критерию ТУ приведены в работах [4, 6].

При исследовании КБЛА в задачах оптимизации за критерий оптимальности принимают вероятность выполнения возложенной задачи. Оценку вероятности выполнения задачи можно представить $\hat{P}_{вз} = P(\theta)$, где $P(\theta)$ – вероятность выполнения задачи; θ – событие, которое связано с условием выполнения задач для БЛА, т.е. с конечной целью операции. Случайность события θ является следствием множества воздействий на КБЛА.

Анализ данных в такой постановке задачи сводится к определению основных групп показателей функциональной эффективности.

- Задачи обнаружения и распознавания объектов-целей (пожары, наводнения, поиск и др.) связаны с вероятностью обнаружения объекта-цели в заданных диапазонах условий возможного применения и с вероятностью распознавания объекта-цели в заданных диапазонах условий возможного применения.
- Задачи по доставке грузов к объекту-цели связаны с вероятностью доставки груза к объекту-цели.
- Задачи контроля (мониторинга) окружающей среды, связаны с вероятностями выполнения задач ретрансляции данных, постановки помех, радиационной, бактериологической и химической разведки, патрулирования границ, поиска пожаров, пропавших людей.

² Определение понятий «качество» и «технический уровень» продукции приведено в ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения», а также в ГОСТ 2.116-84 «Карта технического уровня и качества продукции».

Вероятностные показатели и характеристики являются важными при оценке качества продукции на ранних стадиях предварительного анализа и проектирования СТС.

2 Моделирование анализа технического облика СТС

2.1. Постановка задачи исследования

Подходы к разработке информационных моделей анализа технического облика СТС могут быть различными. Можно выделить три основных направления: построение стохастических моделей, экспертные оценки, гибридные модели [7, 8]. Данные методы, как правило, ориентированы на получение первичных показателей и основных характеристик СТС, связанных с понятием «технический облик».

Для реализации первого подхода применяют методы статистической динамики, статистической линеаризации [7], канонических разложений [9], метод неградиентного случайного поиска (НСП) [10] и др. Для проведения оценки объектов СТС применяют множество методов экспертных оценок с различными подходами. Они также важны в прогнозном моделировании и в задачах проектирования объектов КБЛА. Для реализации комбинированного подхода к оценкам СТС требуются концептуальные описания объектов в виде информационных моделей для анализа показателей и основных характеристик в среде ИАС.

2.1.1 Построение стохастических моделей анализа многофункциональных КБЛА

Назначение КБЛА во многом определяется конечной целью типовой операции: обнаружение и распознавание объекта-цели $P_{по} = F(P_{обн}, P_p)$, доставка грузов к объекту-цели, оцениваемой вероятностью доставки груза $P_{ц}$. В данной работе используется метод НСП, в котором алгоритмы выбираются исходя из сравнении вектора состояния $Y(t)$ системы с выходным сигналом желаемого (требуемого) процесса Y_T [10].

Формальная связь характеристик входного $X(t)$ и выходного сигналов $Y(t)$ определяется оператором системы $A(Y, X; t)$. Изменять оператор $A(\cdot)$ можно путём изменения некоторых управляющих звеньев СТС, которые связаны с блочной матрицей S_c , в которую, как правило, включаются искомые параметры объекта СТС и выбираемая модель из блоков базы данных.

При этом $Y(t) = A(Y, X, S_c; t)X(t)$. Изменяя оператор $A(Y, X, S_c; t)$ с помощью матрицы S_c , можно осуществить сближение $Y(t)$ и Y_T . Управление качеством – это информационный процесс в ИАС, основной задачей которого является сближение $Y(t)$ и Y_T , наличие отклонения в их значениях свидетельствует о потере качества. Чтобы отклонениям придать свойство измеримости, принимается функция потерь $\ell(Y, Y_T)$ [7, 10, 11]. Преобразуя функцию потерь [4, 10], можно получить критерий оптимизации СТС $P(\theta|S_c, A_v) \max_v$, в котором параметры управляющей матрицы будут оптимизированы при равенстве $S_o = S_c$ в модели A_v . Решения для A_v выбирают из модельного ряда – набора однородных типовых объектов в КБЛА, характеризующихся именем, признаками, входными и выходными параметрами, средой функционирования.

Оптимизированные оценки $P_{по}$, $P_{обн}$, P_p , $P_{ц}$ и др. показателей многофункциональных КБЛА находятся по условию максимума для свёртки критерия $P(\theta) = \max P(\theta|S_o)$. Критерии изменяются под воздействием управляющей матрицы S_c , связанной с событиями для звеньев модельного ряда $A_1, A_2, \dots, A_v, \dots, A_N$, с учётом основных принимаемых ограничений [4, 7, 11].

Таким образом, свёртка критерия может иметь вид:

$$P(\theta|S_o) = \max_{A_v, S_{c1}} F(S_{c1}, A_v), \quad F(S_{c1}, A_v) = \frac{P(A_v|\theta) f_{\theta}(S_{c1}|\theta, A_v)}{P(A_v) f_v(S_{c1}|A_v)}, \quad (v = \overline{1, N}),$$

где S_{Cl} – матрица искомых параметров (часто принимаются коэффициенты закона управления БЛА, коэффициенты алгоритма калмановской фильтрации и др.); A_v – элементы матрицы модельного ряда и v -го сочетания управляющей матрицы S_C ; $f_{\theta}(\cdot)$ – плотность вероятности события θ и события A_v ; $f_v(\cdot)$ – плотность вероятности для события A_v ; $P(A_v)$ – вероятность события A_v и $P(A_v|\theta)$ – условная вероятность события A_v .

Достоинством изложенного подхода является построение согласованной системы моделей для получения оценок основных показателей, характеризующей степень совершенства объектов в КБЛА [4, 6].

2.1.2 Критерий эффективности объектов СТС на ранних стадиях разработки

Анализ процесса создания продукции нового качества позволяет установить, что определяющим условием успешной разработки является наличие достаточного количества элементов новизны [12]. Для определения стратегий оптимального развития СТС предлагается использовать модель с элементами новизны и преемственности разрабатываемой СТС, которая позволяет воспользоваться показателем эффективности следующего вида:

$$F_{\text{эфф}} = f(K_0, v, R, t),$$

где K_0 – характеристика качества облика создаваемых объектов СТС;

v – характеристика уровня разработки по показателям преемственности и новизны;

R – характеристика ресурсного обеспечения;

t – временная технологическая характеристика.

С помощью информационной модели с использованием системы показателей и основных характеристик КБЛА производится оценка качества структуры БЛА на протяжении всего жизненного цикла. При различных испытаниях используется соответствующая группа показателей качества и функциональной эффективности. В зависимости от решаемой задачи проекта на множестве частных сформированных показателей качества формируется критерий эффективности.

2.2 Структурно-параметрическая оптимизация моделей БЛА

Теоретико-вероятностные методы анализа и исследования СТС получили широкое применение на ранних стадиях разработки БЛА. Для оптимизации БЛА с использованием метода НСП принята функция потерь [10, 11]:

$$\ell(Y, Y_T) = \begin{cases} \ell_1, & \text{при } \bar{\theta}(Y, Y_T), \\ 0, & \text{при } \theta(Y, Y_T), \end{cases}$$

в которой ℓ_1 – величина потерь; Y_T – требуемый вектор выходных сигналов СТС; Y – моделируемый выходной сигнал; $\theta(Y, Y_T)$ – событие, состоящее в том, что при конкретной реализации входного сигнала X реализация выходного сигнала Y удовлетворяет требованию близости к требуемому Y_T .

Среднее значение функции потерь определяется из выражения

$$M[\ell(Y, Y_T)|S_c] = \ell_1 [1 - P(\theta(Y, Y_T)|S_c)],$$

где $P(\theta(Y, Y_T)|S_c)$ – вероятность события $\theta(Y, Y_T)$ при фиксированных значениях элементов управляющей матрицы S_c , связанной с управляющими звеньями системы.

За критерий оптимальности в структурно-параметрической оптимизации СТС с применением НСП принимается минимальное условное среднее значение функции потерь [4, 6]. Таким образом, при любых значениях ℓ_1 справедливо следующее равенство:

$$M[\ell(Y, Y_T) | S_o] = \max_{\forall S_c \in \Omega_c} P(\theta(Y, Y_T) | S_c),$$

где S_o – оптимальная управляющая матрица; Ω_c – допустимая область поиска.

Сложное событие θ в имитационном моделировании типовых функциональных задач для БЛА состоит из ряда событий: старта $\theta_{ст}$, полета по маршруту $\theta_{п}$, преодоления угроз БЛА $\theta_{уг}$, выхода в район объекта-цели (ОЦ) $\theta_{вых}$, обнаружения ОЦ $\theta_{по}$, доставки груза ОЦ $\theta_{оц}$ и др.

Информационная вероятностная модель применения многофункционального БЛА представляет собой обобщенную вероятностную модель процесса в пространстве состояний. Данная модель отражает основные свойства СТС с позиций теоретико-вероятностного подхода, отображает основные этапы применения объектов и определяет аналитическую связь для вероятностей состояний и переходных вероятностей. Последние по существу представляют собой вероятности решения задач того или иного этапа применения КБЛА [4, 6, 11].

Таким образом, представленная информационная математическая модель также необходима для получения первичной оценки вероятностных показателей к характеристикам ТУ в среде ИАС наряду с экспертными оценками.

3 Выбор рационального варианта объектов КБЛА

3.1 Принцип выбора БЛА

Выбор объектов для СТС с использованием модели БЛА предполагает многокритериальное оценивание множества показателей в компьютерной среде и соответствующей концепции [13]. Критерий качества задаётся, исходя из смысла решаемой задачи СТС. Для принятия решения по вероятностным показателям и характеристикам в процедурах НСП, а также при поиске лучшей модели альтернативных вариантов объектов из базы данных многофункциональных КБЛА может быть использована также экспертная оценка в среде ИАС.

Пусть a - допустимая альтернатива модели объекта СТС и A - множество всех допустимых альтернатив. Пусть каждому действию или выбору a из A соответствует совокупность показателей $J_1(a), \dots, J_m(a)$. Можно считать, что m показателей J_1, \dots, J_m отображает каждое a из A в некоторой точке m -мерного пространства исходов действий.

Задача состоит в таком выборе a из A , чтобы получить оптимальный в отношении принятого критерия вариант из $J_1(a), \dots, J_m(a)$, т.е. нужна «свёртка» для критерия, которая бы объединяла всю совокупность $J_1(a), \dots, J_m(a)$ в скалярный показатель предпочтительности.

3.2 Пример выбора БЛА с помощью ИАС

ИАС «Оценка и выбор» относится к системам поддержки принятия решений и базируется на использовании многокритериального анализа методом экспертных оценок [14].

Выбор СТС осуществляется с использованием известных математических методов теории принятия решений [15, 16] и современных информационных технологий [17]. Разведывательно-ударные и ударные БЛА можно разделить по взлётной массе на четыре класса: 0,3-2 т – класс 1; 2-6 т – класс 2; 6-13 т – класс 3; 13-25 т – класс 4. Для сравнительного анализа были выбраны существующие и разрабатываемые БЛА, принадлежащие классу 1.

Основные ТТХ разведывательно-ударных и ударных БЛА, которые приняты в качестве оценочных показателей, приведены в таблице 1.

Совокупность оценочных показателей определяет техническое совершенство БЛА, а степень их значимости определяется коэффициентом весомости каждого из них. В такой постановке лучшим образцом БЛА признается тот, который «набрал» при анализе наибольшее число баллов (рейтинг). Рейтинг альтернативы (образца БЛА) рассчитывается по формуле:

$$R(i) = \sum_j W_j \cdot R_j(i),$$

где W_j – весовой коэффициент интегрального показателя j ,

$R_j(i) = \sum W_{kj} U_{kj}(i)$ – рейтинг альтернативы i по интегральному показателю j .

W_{kj} – вес единичного показателя k интегрального показателя j ;

$U_{kj}(i)$ – значение функции ценности единичного показателя k альтернативы i интегрального показателя j .

Таблица 1 – Основные характеристики БЛА массой 0,3-2 т (класс 1) для проведения сравнительного анализа

Наименование БЛА (страна)	Взлётная масса $M_{ВЗЛ}$, кг	Масса боевой нагрузки $M_{БН}$, кг	Дальность полёта $D_{П}$, км	Продолжительность полета $T_{П}$, ч	Высота полета (практический потолок) $H_{П}$, м	Максимальная скорость полёта $V_{МАКС}$, км/ч	Количество точек подвески n , ед.	Стоимость БЛА $C_{БЛА}$, млн. долл.
«Форпост-М» (Россия)	454	100	500	17,5	5000	200	2	7,5
«Дозор-600» (Россия)	640	220	3700	30	7500	210	–	6
«Гермес 900» (Израиль)	1180	350	4000	36	9145	220	2*	12*
«Орион-1 (Э)» (Россия)	1200	200	600	24	8000	200	2	6
«Импакт 1300» (Израиль)	1300	400	1500	30	9000	250	2*	9*
СН-4В (Китай)	1350	345	1600	14	7000	250	4	4
«Вин Лун-1D» (Китай)	1500	400	2000	35	7500	280	4	8*
MQ-1C «Грэй Игл» (США)	1634	478	8000	36	8840	280	4	17*
«Рустом-2» (Индия)	1800	350	900	24	10660	300	2	10

* Экспертная оценка

В качестве основных оценочных показателей при сравнительном анализе многофункциональных БЛА приняты нормированные показатели, представленные в таблице 2. Они образуют интегральный показатель «качество» (ТУ – совокупность свойств объекта, отражающих его техническое совершенство [18]). Коэффициенты весомости оценочных показателей разработаны по результатам обработки оценок десяти экспертов, в качестве которых были привлечены специалисты в области конструирования и аэродинамики БЛА, систем наведения и управления, системного анализа и боевой эффективности комплексов авиационного вооружения.

Таблица 2 – Перечень нормированных оценочных показателей БЛА и их значимость

Наименование оценочного показателя	Значимость показателя (коэфф-т весомости W)
Взлётная масса $M_{ВЗЛ}$	0,125
Масса боевой нагрузки $M_{БН}$	0,150
Дальность полета $D_{П}$	0,150
Продолжительность полета $T_{П}$	0,125
Высота полета (практический потолок) $H_{П}$	0,100
Скорость полета (максимальная) $V_{МАКС}$	0,100
Количество точек подвески (УР и УАБ) n	0,150
Стоимость БЛА $C_{БЛА}$	0,100

Полученные функции ценности оценочных показателей представлены на рисунке 1.

При формировании функции ценности по каждому оценочному показателю принимаются во внимание функциональное предназначение БЛА, основные требования по ТТХ, предъявляемые к данному классу БЛА, учитываются предпочтения по выбору концепции развития СТС или конкретных технических решений.

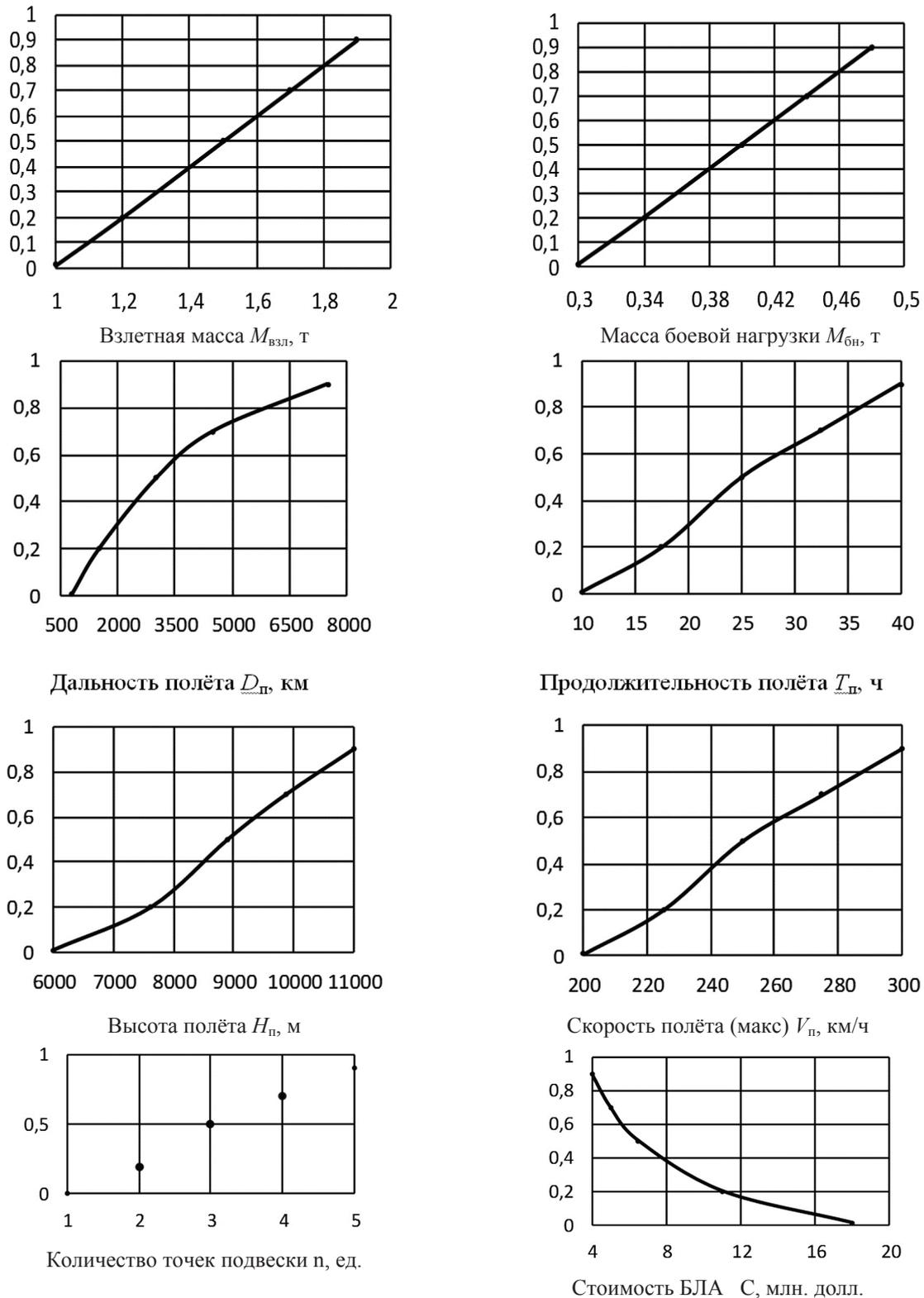


Рисунок 1 – Функции ценности для оценочных показателей при проведении сравнительного анализа БЛА массой 0,3-2 т (класс 1)

Соотношение качественной и количественной оценок представлено в таблице 3. Итоговые результаты сравнительного анализа БЛА представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Численные значения оценки и их словесная интерпретация

Рейтинг	Лингвистическая интерпретация (в виде высказываний)
0.00 – 0.05	«Минимально приемлемо»
0.05 – 0.15	«Очень посредственно»
0.15 – 0.25	«Посредственно»
0.25 – 0.35	«Вполне удовлетворительно»
0.35 – 0.45	«Почти хорошо»
0.45 – 0.55	«Хорошо»
0.55 – 0.65	«Очень хорошо»
0.65 – 0.75	«Почти отлично»
0.75 – 0.85	«Отлично»
0.85 – 0.95	«Замечательно»

Таблица 4 – Итоговые результаты анализа многофункциональных БЛА массой 0,5-2 т (класс 1)

Моделируемый объект БЛА	Место	Баллы
MQ-1C «Грей Игл» (США)	1	677
«Вин Лун-1D» (Китай)	2	515
«Рустом-2» (Индия)	3	431
«Импакт 1300» (Израиль)	4	387
СН-4В (Китай)	5	382
«Гермес 900» (Израиль)	6	373
«Дозор-600» (Россия)	7	310
«Орион-1 (Э)» (Россия)	8	211
«Форпост-М» (Россия)	9	98

Из таблицы 4 следует, что по совокупности оценочных показателей по рейтингу на первые места вышли MQ-1C «Грей Игл» (США), «Вин Лун-1D» (Китай), «Рустом-2» (Индия).

На рисунке 2 представлено изображение рабочего окна монитора в среде ИАС «Оценка и выбор» с результатами сравнительного анализа БЛА по двум методам – методу взвешенного суммирования и методу идеальной точки, соответственно.

ИАС «Оценка и выбор» позволяет провести анализ по каждому типу БЛА, выявить картину основных свойств. Например, БЛА «Дозор-600» занял седьмое место, так как получил низкую оценку по оценочным показателям «Взлётная масса» и «Масса боевой нагрузки». Одной из причин такой оценки может быть то, что взлётная масса и масса боевой нагрузки у данного БЛА оказалась меньше заданной нижней границы функций ценности.

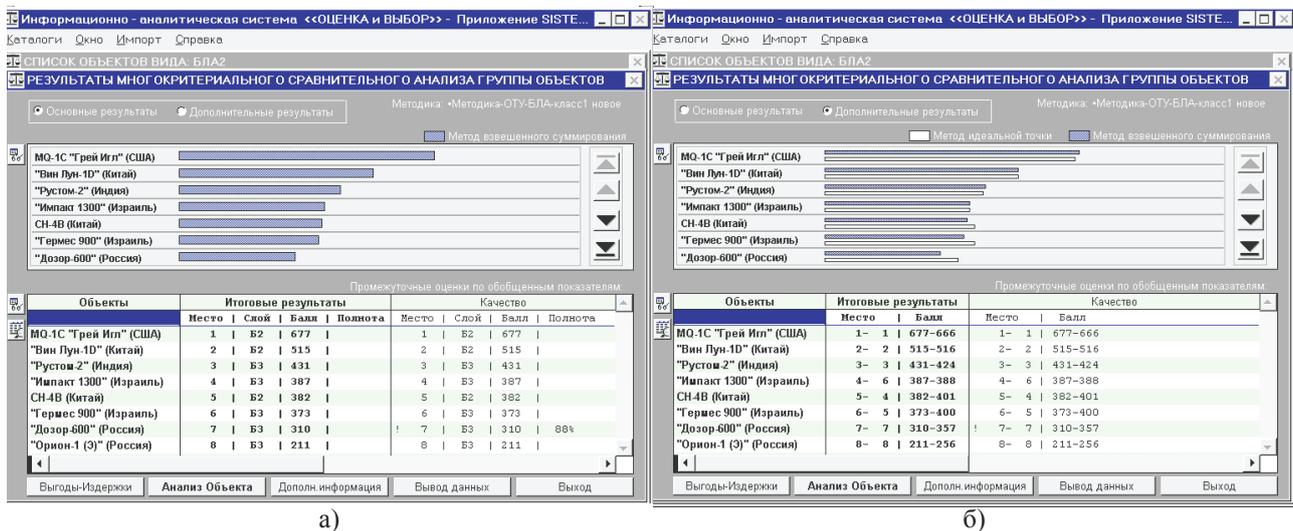


Рисунок 2 – Результаты анализа БЛА в ИАС «Оценка и выбор»:
 а) по методу весовых коэффициентов (взвешенного суммирования);
 б) по двум методам (методу весовых коэффициентов и методу идеальной точки)

На рисунке 3 представлены результаты анализа по оценочным показателям БЛА MQ-1C «Грей Игл» (США), получившего высшую оценку, и отечественного БЛА «Дозор-600».

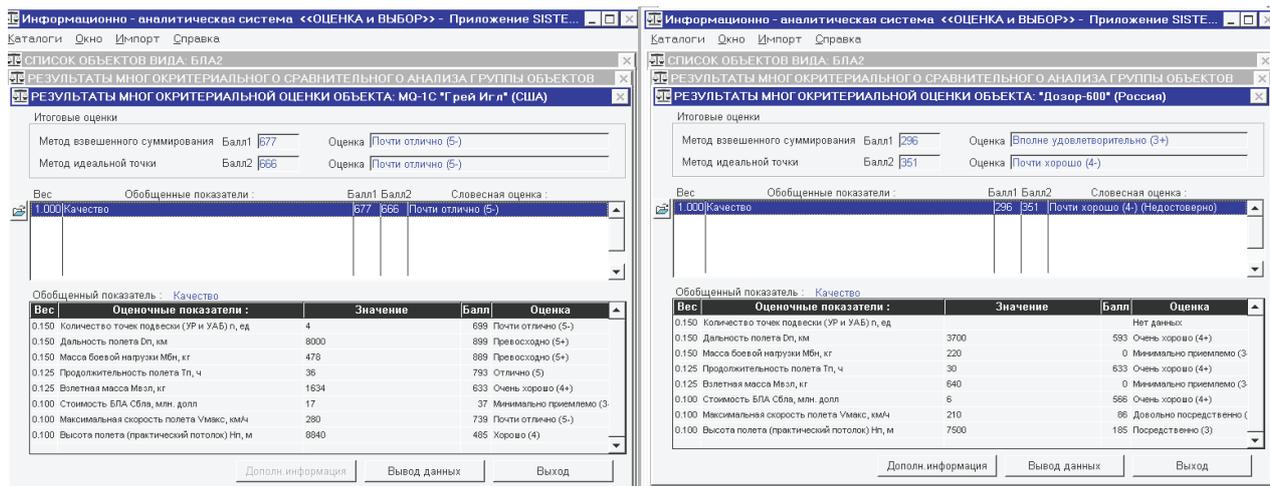


Рисунок 3 – Результат многокритериальной оценки БЛА в ИАС «Оценка и выбор»: а) MQ-1 «Грей Игл» (США); б) «Дозор-600» (Россия)

К числу основных задач, возлагаемых на разведывательно-ударные БЛА, относится доставка боевой нагрузки к цели, что показано на межпараметрических связях в системе координат «Масса боевой нагрузки $M_{Бн}$, кг» – «Взлётная масса $M_{взл}$, кг» (рисунок 4а) и «Масса боевой нагрузки $M_{Бн}$, кг» – «Дальность полета $D_{п}$, км» (рисунок 4б).

Представляют интерес межпараметрические связи между итоговым результатом и оценочными показателями «Взлётная масса $M_{взл}$, кг», «Дальность полета $D_{п}$, км» (рисунок 5), «Масса боевой нагрузки $M_{Бн}$, кг», «Стоимость СБЛА, млн. долл.» (рисунок 6).

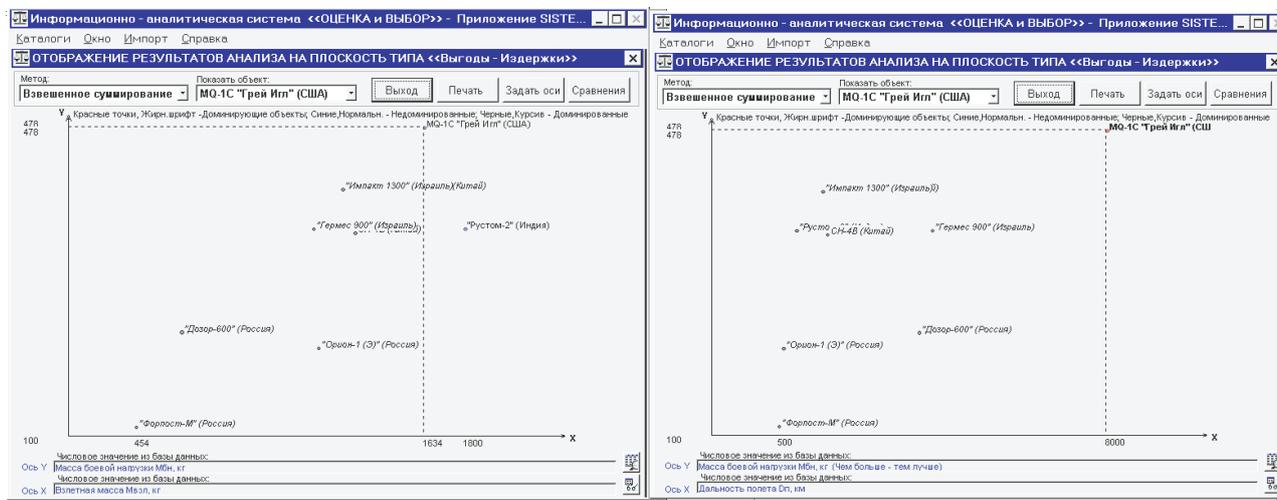


Рисунок 4 – Результат анализа БЛА MQ-1«Грей Игл» (США) в ИАС «Оценка и выбор» в системе координат: а) «Масса боевой нагрузки $M_{Бн}$, кг» – «Взлётная масса $M_{взл}$, кг»; б) «Масса боевой нагрузки $M_{Бн}$, кг» – «Дальность полета $D_{п}$, км»

Из анализа рисунков 4-6 следует, что по коэффициенту полезной нагрузки (отношение массы боевой нагрузки $M_{Бн}$ к взлётной массе $M_{взл}$) и максимальной дальности полета $D_{п}$, а, следовательно, максимальной транспортной производительности $T_{ПР}$ [19], наилучшим является разведывательно-ударный БЛА MQ-1C «Грэй Игл» (США). Это соответствует первому месту в рейтинге исследуемых БЛА (таблица 4). При этом стоимость БЛА MQ-1C «Грэй Игл» имеет наибольшее значение среди анализируемых БЛА.



Рисунок 5 – Результат анализа БЛА в среде ИАС «Оценка и выбор» в системе координат:
 а) «Итоговая оценка»– «Взлётная масса $M_{взл}$, кг»; б) «Итоговая оценка»– «Дальность полета $D_{п}$, км»

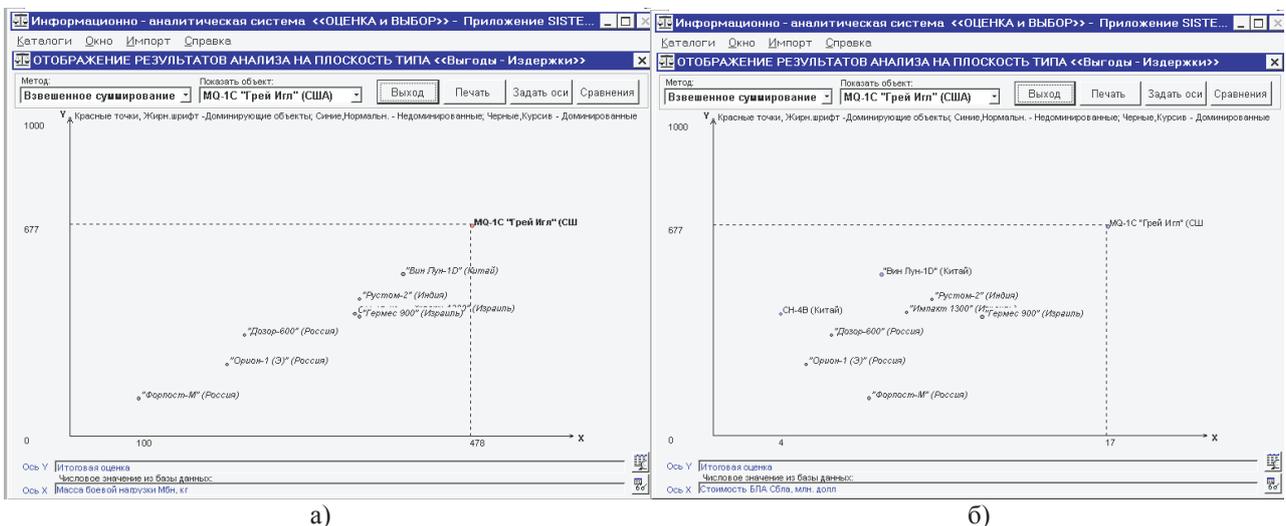


Рисунок 6 – Результат анализа БЛА в среде ИАС «Оценка и выбор» в системе координат:
 а) «Итоговая оценка»– «Масса боевой нагрузки $M_{бн}$, кг»; б) «Итоговая оценка»– «Стоимость $C_{БЛА}$, млн. долл.»

Результаты информационного моделирования СТС и первичные оценки их показателей с основными характеристиками БЛА предоставляют возможность выбрать наиболее предпочтительный вариант разработки (или закупки) или выбора направлений исследований перспективных многофункциональных БЛА.

Заключение

Одним из подходов к оценке СТС может служить использование сочетаний теоретико-вероятностных методов и методов экспертных оценок с соответствующими информационными моделями и алгоритмами, реализующими их.

Процесс выбора БЛА из числа альтернативных при создании СТС показан на примере многофункциональных БЛА класса 1 с помощью ИАС «Оценка и выбор», в которой реализован многокритериальный метод оценивания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Reg, A.* Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment / A. Reg // Austin Reg. JohnWiley and Sons, Ltd. Publication, 2010. 332 p.
- [2] *Dougherty, M.J.* Drones / Martin J. Dougherty // An illustrated guide to the unmanned aircraft that are filling our skies. 2015. Amber Books Ltd.
- [3] *Jane's.* All the World's Aircraft. 2017-2018. 458 p.
- [4] *Полтавский, А.В.* Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов / А.В. Полтавский, А.А. Бурба, А.Е. Аверкин, В.В. Макаров, В.В. Маклаков // Под ред. Рубиновича Е.Я. – М.: ИПУ РАН, 2015. 204 с.
- [5] *Скопец, Г.М.* Внешнее проектирование авиационных комплексов: методологические аспекты / Г.М. Скопец. М.: Ленанд, 2017. – 344 с.
- [6] *Полтавский, А.В.* Информационные процессы в технике: моделирование систем и объектов многофункциональных робототехнических комплексов беспилотной авиации / А.В. Полтавский, С.С. Семенов, А.А. Бурба, Нгуен Зуи Фыонг // Под ред. Вишневого В.М. – Королев: АО «ПСТМ», 2019. 404 с.
- [7] *Казаков, И.Е.* Методы оптимизации стохастических систем / И.Е. Казаков, Д.И. Гладков. – М.: Наука, 1987. 304 с.
- [8] *Кульба, В.В.* Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / В.В. Кульба, Е.Н. Микрин, Б.В. Павлов, В.Н. Платонов // Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Наука, 2006. 579 с.
- [9] *Пугачёв, В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачёв. – М.: Физматлит, 2002. 496 с.
- [10] *Гладков, Д.И.* Оптимизация систем неградиентным случайным поиском / Д.И. Гладков. – М.: Энергоиздат, 1984. 256 с.
- [11] *Казаков, И.Е.* Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И.Е. Казаков, С.В. Мальчиков. – М.: Наука, 1983. 384 с.
- [12] *Саркисян, С.А.* Анализ и прогноз развития больших технических систем / С.А. Саркисян, В.М. Ахундов, Э.С. Минаев. – М.: Наука, 1983 г. 280 с.
- [13] *Пиявский, С.А.* Прогрессивность многокритериальных альтернатив / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2013 – № 4(10). – С.53-59.
- [14] *Семенов, С.С.* Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники / С.С. Семенов, В.Н. Харчев, А.И. Иоффин. – М.: Радио и связь, 2004. 552 с.
- [15] *Hwang, C.* Multiple Attribute Decision Making / C. Hwang, K. Yoon. Berlin/Heidelberg/New-York: Springer-Verlag, 1981. 259 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.
- [16] *Han-Lin, Li.* Solving Discrete Multicriteria Decision Problems Based on Logic-Based Decision Support Systems / Li. Han-Lin. – North-Holland: Decision Support Systems, 1987. – Vol. 3(1). – P.101–119.
- [17] *Воронов, Е.М.* К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла / Е.М. Воронов, В.В. Щербинин, С.С. Семенов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №2(20). – С.173-192. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [18] *Мышкин, Л.В.* Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика / Л.В. Мышкин. - М.: Физматлит, 2006. 304 с.
- [19] *Володин, В.В.* Беспилотная боевая авиация: исследование существующих программ, концепций и проектов / В.В. Володин // Научно-техническая информация ГосНИИАС. Авиационные системы. Юбилейный выпуск. 2006. – С.17-25.

Сведения об авторах



Полтавский Александр Васильевич, 1957 г. рождения, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончил с отличием ВВАИУ по специальности «Вооружение летательных аппаратов ВВС», адъюнктуру ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, к.т.н. по специальности «Вооружение и военная техника ВВС» (1995), д.т.н. по специальности «Информационно-измерительные и управляющие системы» (2012). Имеет 198 научно-технических статей, 12 книг, 8 монографий, 10 учебных пособий и 32 изобретения Российской Федерации. AuthorID (РИНЦ): 730821. Author ID (Scopus): 42673435. Researcher ID (WoS): 31020525. lab-54@bk.ru.

Семенов Сергей Сергеевич, 1942 г. рождения, руководитель группы анализа и перспективного проектирования АО «ГНПП «Регион». В 1963 г. окончил с отличием Московский радиомеханический техникум по специальности «Радиолокационные устройства», в 1969 г. – Московский инженерно-физический институт по специальности «Автоматика и электроника», кандидат технических наук (2010). Автор и соавтор 224 научно-технических статей, 8 монографий и 6 книг, 47 изобретений и 116 научных трудов. AuthorID (РИНЦ): 26334. gnppregion@sovintel.ru.



Поступила в редакцию 17.08.2020, после рецензирования 16.02.2021. Принята к публикации 26.02.2021.

An approach to assessing complex technical systems at an early stage of development

A.V. Poltavsky¹, S.S. Semenov²

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² 'Region' JSC, State Research and Production Enterprise, Moscow, Russia

Abstract

An approach to assessing complex technical systems at an early stage of their development is considered. Complexes with multifunctional dual-use unmanned aerial vehicles are being investigated as complex technical systems. The novelty of the work lies in the integration of the assessment by structuring the methods and stochastic models of the analysis of complex technical systems in the technological computerized environment of the developer, choosing a decision-making strategy at the stages of preliminary design, including the method of expert assessments. Using the example of unmanned aerial vehicles (UAVs), the technology of choosing a rational version of complex technical systems from among the alternatives of the formed model range using an information and analytical system (IAS) is shown. The IAS implements a procedure for multi-criteria assessment of complex technical systems based on the methods of expert assessments. The primary results of a comprehensive assessment of reconnaissance-strike and strike complexes of multifunctional UAVs weighing 0.3-2 tons have been obtained.

Keywords: modeling, complex system, technical level, unmanned aerial vehicle, optimization, quality.

Citation: Poltavsky AV, Semenov SS. An approach to assessing complex technical systems at an early stage of development [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 104-116. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-104-116.

List of figures and tables

Figure 1 – Value functions for estimated indicators for comparative analysis of UAVs weighing 0.3-2 tons (class 1)

Figure 2 – The results of the analysis of multifunctional UAVs in the IAS «Evaluation and selection»: a) by the method of weighting factors (weighted summation); b) by two methods (method of weight coefficients and method of ideal point)

Figure 3 – The result of a multi-criteria assessment of a multipurpose strike UAV in the IAS «Evaluation and Selection»: a) MQ-1 «Gray Eagle» (USA); b) Dozor-600 (Russia)

Figure 4 – The result of the analysis of the UAV MQ-1 «Gray Eagle» (USA) in the IAS «Evaluation and Selection» in the coordinate system: a) «Mass of combat load M_{CBL} , kg» – «Takeoff weight M_{TOW} , kg»; b) «Mass of combat load M_{CBL} , kg» – «Flight range D_R , km»

Figure 5 – The result of the UAV analysis in the IAS «Evaluation and Selection»: a) «Final score» – «Takeoff weight M_{TOW} , kg»; b) «Final score» – «Flight range D_R , km»

Figure 6 – The result of the UAV analysis in the IAS «Evaluation and Selection»: a) «Final score» – «Mass of combat load M_{CBL} , kg»; b) «Final score» – «The cost of the UAV, million dollars»

Table 1 – Basic characteristics of UAVs weighing 0.3-2 tons (class 1) for comparative analysis

Table 2 – List of standardized UAV estimates and their significance

Table 3 – The numerical values of the assessment and their verbal interpretation

Table 4 – Final results of the analysis of multifunctional UAVs weighing 0.5-2 tons (class 1)

References

- [1] **Reg A.** Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment. *John Wiley and Sons*, Ltd. Publication, 2010. 332 p.
- [2] **Martin J. Dougherty.** Drones. An illustrated guide to the unmanned aircraft that are filling our skies. 2015 Amber Books Ltd.
- [3] **Jane's.** All the World's Aircraft. 2017-2018. 458 p.
- [4] **Poltavsky AV, Burba AA, Makarov VV, Maklakov VV.** Multifunctional complexes of unmanned aerial vehicles [In Russian]. Ed. Rubinovich E.Ya. Moscow: IPU RAN, 2015. 204 p.
- [5] **Skopets GM.** External design of aviation complexes: methodological aspects [In Russian]. Moscow: Lenard, 2017. 344 p.
- [6] **Poltavsky AV, Semenov SS, Burba AA, Nguyen Zui Phuong.** Information processes in technology: modeling of systems and objects of multifunctional robotic complexes for unmanned aviation [In Russian]. Ed. V.M. Vishnevsky. Korolev: JSC «PSTM», 2019. 404 p.
- [7] **Kazakov IE, Gladkov DI.** Optimization methods for stochastic systems [In Russian]. Moscow: Nauka, 1987. 304 p.
- [8] **Kulba VV, Mikrin EN, Pavlov BV, Platonov VN.** Theoretical foundations of information design control systems of spacecraft [In Russian]. Institute of Control Problems V.A. Trapeznikov RAN. Moscow: Nauka, 2006. 579 p.
- [9] **Pugachev VS.** Probability theory and mathematical statistics [In Russian]. Moscow: Fizmatlit, 2002. 496 p.
- [10] **Kazakov IE, Malchikov SV.** Analysis of stochastic systems in the state space [In Russian]. Moscow: Nauka, 1983. 384 p.
- [11] **Gladkov DI.** Optimization of systems by non-gradient random search [In Russian]. Moscow: Energoizdat, 1984. 256 p.
- [12] **Sarkisyan SA, Akhundov VM, Minaev ES.** Analysis and forecast of the development of large technical systems [In Russian]. M.: Nauka, 1983. 280 p.
- [13] **Piyavsky SA.** Progressiveness of multicriteria alternatives [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013, 4(10): 53-59.
- [14] **Semenov SS, Kharchev VN, Ioffin AI.** Assessment of the technical level of weapons and military technology [In Russian]. M: Radio and communication, 2004. 552 p.
- [15] **Hwang C, Yoon K.** Multiple Attribute Decision Making. Berlin/Heidelberg/New-York: Springer-Verlag, 1981. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.
- [16] **Han-Lin Li.** Solving Discrete Multicriteria Decision Problems Based on Logic-Based Decision Support Systems. North-Holland: Decision Support Systems, 1987; 3(1): 101–119.
- [17] **Voronov EM, Scherbinin VV, Semenov SS.** To the assessment of technical level complex technical systems taking into account the whole life cycle [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016, 6(2): 173-192. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [18] **Myshkin LV.** Forecasting the development of aviation technology: theory and practice [In Russian]. Moscow: Fizmatlit, 2006. 304 p.
- [19] **Volodin VV.** Unmanned Combat Aviation: Research of Existing Programs, Concepts and Projects [In Russian]. Scientific and Technical Information (Aviation systems). Anniversary edition. GosNIIAS 2006. P.17-25.

About the authors

Poltavsky Alexander Vasilyevich (b. 1957), leading researcher at the Institute of Control Sciences RAS. Graduated with honors from Military Aviation Engineering University (Voronezh) with a degree in Armament of Air Force aircraft, postgraduate studies at Zhukovsky Air Force Engineering Academy, PhD in Armament and military equipment of the Air Force (1995), PhD in the specialty of Information-measuring and control systems (2012). He has 198 scientific and technical articles, 12 books, 8 monographs, 10 textbooks and 32 inventions of the Russian Federation. AuthorID (RSCI): 730821. Author ID (Scopus): 42673435; Researcher ID (WoS): 31020525. lab-54@bk.ru.

Sergey Sergeevich Semenov (b. 1942), the head of the analysis and prospective design group “Region” JSC. In 1963, he graduated with honors from the Moscow Radio-Mechanical Technical School, specializing in Radar Devices, and in 1969 he graduated from the Moscow Engineering Physics Institute with a degree in Automation and Electronics, and in 2010 he received a Candidate of technical Sciences degree. He is the author and a co-author of 224 scientific and technical articles, 8 monographs and 6 books, 47 inventions and 116 scientific papers. AuthorID (RSCI): 26334. gnppregion@sovintel.ru.

Received August 17, 2020. Revised February 16, 2021. Accepted February 26, 2021.

Онтологический синтез моделей нестационарной динамики бортовых интеллектуальных систем

Ю.И. Нечаев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Рассматривается онтологический синтез моделей интерпретации нестационарной динамики в бортовых интеллектуальных системах, функционирующих в режиме экстренных вычислений (*Urgent Computing – UC*). Сформулирована онтологическая система динамической базы знаний на основе теоретических моделей современной теории катастроф. Анализ и прогноз эволюционной динамики нестационарного объекта реализован в мультипроцессорной вычислительной среде. В рамках онтологической системы сформулирован подход к интерпретации нестационарной динамики с использованием фрактальной геометрии и теории устойчивости динамических систем. Практическое приложение разработанной модели онтологии обсуждается применительно к интерпретации взаимодействия морского динамического объекта с внешней средой на заданном временном интервале. Динамическая модель современной теории катастроф определяет движение морского динамического объекта системы к целевому аттрактору и при потере устойчивости. Приведены примеры реализации онтологического синтеза нестационарной динамики в системах обеспечения безопасности мореплавания и посадки летательных аппаратов корабельного базирования.

Ключевые слова: онтологический синтез, нестационарная динамика, теория катастроф, морской динамический объект, экстренные вычисления.

Цитирование: Нечаев, Ю.И. Онтологический синтез моделей нестационарной динамики бортовых интеллектуальных систем / Ю.И. Нечаев // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). – С. 117-125. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-117-125.

Введение

Решение задач онтологического синтеза нестационарной динамики морского динамического объекта (МДО) формализуется на основе многорежимного программного комплекса (МПК) [1]. Рассмотрение пространства нестационарной динамики как общей онтологической категории связано с выбором базовой концепции функционального пространства современной теории катастроф (СТК) [2-4]. На рисунке 1 показана парадигма онтологического синтеза МПК.

Пространство знаний онтологической системы при интерпретации эволюционной динамики – это совокупность всех возможных состояний МДО на интервале реализации экстренных вычислений (*Urgent Computing – UC*). Интегрированная среда онтологического



Рисунок 1 - Парадигма онтологического синтеза многорежимного программного комплекса

синтеза моделирования и визуализации нестационарной динамики использует следующие модели:

$$Ont = Ont(M) \cup Ont(U) \cup Ont(R) \cup Ont(S) \cup Ont(D), \quad (1)$$

где $Ont(M)$ – метаонтология; $Ont(U)$ – онтология управления вычислениями и моделированием; $Ont(R)$ – онтология ограничений на роли терминов и отношений между ними; $Ont(S)$ – онтология предметной области (ПрО); $Ont(D)$ – онтология данных по вычислениям и моделированию.

1 Онтология нестационарной динамики

При формализации моделей онтологии ПрО $Ont(S)$, составляющих общую проблемную область $Ont(P)$ моделирования и визуализации нестационарной динамики, используют следующие определения [5]:

Онтология «поля знаний» ПрО нестационарной динамики

$$Ont(S) \rightarrow \langle Q, C \rangle \in Ont(P) \quad (2)$$

определяет множество понятий Q (объектов, процессов, явлений) и множество связей C между ними:

$$Q = \{q_k | k = 1, \dots, K\}, C = \{c_l | l = 1, \dots, L\}. \quad (3)$$

Компоненты модели (1) предварительно формализуются и изучаются на базе математического и физического моделирования с учётом накопленного опыта (рисунок 2).



Рисунок 2 - Онтология, определяющая интегрированную среду многорежимного программного комплекса

Проблема математического описания нестационарной динамики МДО реализуется в рамках теории сложности с учётом структуры модели и её адекватности [6, 7].

Функция интерпретации динамических ситуаций онтологической системы реализуется с использованием множества бифуркаций $B(t)$ и множества, интегрирующего среду взаимодействия $W(t)$. Множество $C(t)$ формируется на основе данных $F(V(t))$ параметров нестационарной внешней среды и МДО $F(D(t))$. Указанные компоненты онтологической системы определяют общую структуру процесса обработки информации в режиме UC [8] и описывают реальные ситуации эволюционной динамики в зависимости от уровня действующих возмущений.

2 Формальный аппарат онтологии нестационарной системы

Основная проблема, определяющая онтологическую систему знаний при анализе и синтезе модели взаимодействия в сложной динамической среде, связана с созданием нечёткой формальной системы (НФС), базирующейся на достижениях в области интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений.

Фундаментальными знаниями, на базе которых формулируется парадигма обработки информации, являются понятия пространства и времени. В рамках такой интерпретации при отображении эволюции нестационарной системы основное внимание обращается на наиболее важные физические аспекты, с помощью которых можно рассматривать формальный аппарат интеграции знаний.

Построение онтологической системы ведётся на основе принципа конкуренции [6]:

$$Ont[Com(PR)] = \langle Ont(ST), Ont(NF), Ont(NE) \rangle, \quad (4)$$

где $Ont(ST)$ – онтология стандартной модели, описывающей ситуацию на основе достижений классической математики; $Ont(NF)$ – онтология модели, реализованной в рамках нейронечёткого логического базиса; $Ont(NE)$ – онтология, формализующая нейроэволюционную модель.

Из числа возможных концептуальных метабазисов, соответствующих уровню метаонтологии «пространство – время», при интерпретации нестационарной системы выделяют:

$$Ont[META(t)]: Ont - A[W, DO], Ont - B[W, P, t], \quad (5)$$

где $Ont - A[W, DO]$ – особенности отображения; $Ont - B[W, P, t]$ – состояние, процесс, время t , W, DO – внешняя среда и МДО.

Концептуальный метабазис $Ont - A[W, DO]$ называют естественным, так как он непосредственно связан с моделью эволюции нестационарной системы на интервале реализации. Если принимается соответствие «множество есть объект» при формализации эволюционного потенциала самоорганизующейся системы, то справедливо утверждение:

$$\forall C \in Ont - A[W, DO], [c]is - a[ob] \quad (6)$$

Это означает, что элементы объёма понятия «динамика взаимодействия» $Cat \in C(Ont - A[W, DO])$ отнесены в C -категорию «объект исследования», а обобщение задачи реализации на уровне W -моделей приводит к метадиаграмме интерпретации динамики системы [9].

Таким образом, естественный метабазис $Ont - A[W, DO]$ задаёт объектную метаонтологию, язык которой $L(Ont - A[W, DO])$ обладает логической моделью в форме заданной импликации. Концептуальный базис $Ont - B[W, P, t]$ называют «физическим», содержащим понятия «процесс», «состояние» и «время». Поэтому модельные структуры метабазиса $Ont - B[W, P, t]$ являются *динамическими*, и эта онтология представляет собой нестационарную систему, ориентированную на моделирование процессов взаимодействия МДО в сложной динамической среде. Разработанные на основе такой формализации модели онтологии рассматриваются как составляющие общей проблемы онтологии ПрО нестационарной среды $S(NN)$ и определяются критерием истинности $C_R(True)$ с учётом требований полноты $Dem(Full)$ и непротиворечивости $Dem(Non-Contr)$ аксиом и правил вывода.

$$Ont(SNN) = \langle C_R(True)[Dem(Full), Dem(Non - Contr)] \rangle \quad (7)$$

В результате проведённого анализа определена онтология интегрированной системы знаний $S = \{S_i | i = 1, \dots, N\}$, которая представляется в виде:

$$Ont(NET) \rightarrow \langle Ont(CONCEPT), Ont(CONNECT) \rangle, \quad (8)$$

где $Ont(CONCEPT)$ – множество понятий, обозначающих процессы в нестационарной среде (задачи интерпретации); $Ont(CONNECT)$ – множество связей между понятиями.

3 Онтологическая система стратегических решений

Для удобства формализации информации онтологической системы используется представление в виде онтологии знаний (*Knowledge-Ontology*), которая представляет собой объединение групп «объект» и «физические эффекты», вариации поведения, динамика взаимодействия. В качестве инструментария описания задач, реализуемых в процессе нестационарной эволюции МДО, и порядком их распределения на базе функционального пространства поведения и управления СТК, используется матрица стратегических решений [6]:

$$M_{SD} = [A, X] = \begin{bmatrix} \{A_1\} & \{A_i\} & \{A_n\} \\ (x_{11})^* & \dots & (x_{1n})^* \\ & \dots & \\ (x_{1m})^* & \dots & (x_{mn})^* \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Матрица (9) получена на основе преобразования исходных данных (функциональных элементов МДО) с помощью декартова произведения $\{m \times n\}$ множеств альтернатив A и признаков X , формирующих отображение динамики нестационарного взаимодействия в текущей ситуации. Система альтернатив в матрице (9) приводится к единой шкале с помощью преобразования

$$(x_{ji})^* = (x_{ji} - x_{\min j}) / (x_{\max j} - x_{\min j}) \quad (10)$$

с отображением

$$x_{ji} \rightarrow x^* \in [0, 1] \quad (11)$$

Альтернативы A , формирующие структуру матрицы (9), отображают фундаментальный результат интеграции компонент динамической иерархической сети.

Совершенствование технологий обработки информации при интерпретации сложных систем связано с построением алгоритма структурного и параметрического синтеза модели взаимодействия. Последовательность операций этого алгоритма определяют функции выбора методов определения параметров и связей. Такой подход особенно эффективен в задачах прогноза, когда в зависимости от входного вектора измерительной информации последовательно выполняют операции смены предиктора.

Задача прогнозирования поведения нестационарной системы на основе разработанного алгоритма представляет собой цепочку преобразований:

$$\{X_1(T, S), \dots, X_n(T, S)\} \Rightarrow \{Y_1(Out), \dots, Y_n(Out)\}, \quad (12)$$

где $X_i(T, S), \dots, X_n(T, S)$ определяют функции интерпретации на каждом шаге эволюции системы, а $Y_i(Out), \dots, Y_n(Out)$ – результаты прогноза исследуемой характеристики.

Интерпретация приведённой последовательности представлена на рисунке 3 в виде модели стратегического планирования операций.

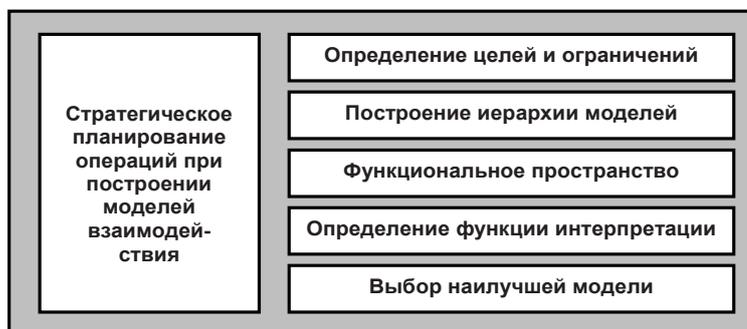


Рисунок 3 - Стратегическое планирование операций нестационарной динамики

4 Онтологическая система моделирования нестационарной динамики

Моделирование нестационарной динамики в рамках онтологической системы в МПК осуществляется на основе следующих определений и утверждений.

Определение 1. Модель экстренных вычислений определяет конфигурацию среды, обеспечивающей функционирование систем раннего предупреждения (*Early Warning System – EWS*) на основе интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений.

Определение 2. Технология гибридного моделирования направлена на исследование и предсказание поведения нестационарных систем, взаимосвязи их элементов, а также выработки стратегий интеллектуальной поддержки в рамках концепции *Global System Science (GSS)*.

Определение 3. Технология обработки больших объемов данных (*BigData*) [10] определяет поток данных (*WorkFlow*) в рамках сервисно-ориентированной архитектуры (*Service Oriented Architecture – SOA*). Контроль динамики взаимодействия отдалённых объектов в режиме *UC* поддерживается с помощью системы дистанционного эксперимента.

Определение 4. Преобразование информации характеризует последовательность событий текущей ситуации в условиях неопределённости на интервале реализации:

$$P \xrightarrow{\rho} G_0 \xrightarrow{\rho_0} G_1 \xrightarrow{\rho_1} \dots \xrightarrow{\rho_{n-1}} G_n, \quad (13)$$

где P – множество, определяющее результат формирования исходной структуры данных интерпретируемой ситуации; G_0, G_1, \dots, G_n – множества, реализующие фазы движения МДО в соответствии со стратегией СТК; $\rho, \rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}$ – управляющие структуры НФС.

Определение 5. Формирование множеств G_0, G_1, \dots, G_n на основе управляющих структур $\rho, \rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}$ обеспечивается в процессе применения операторов интерпретации в пространствах поведения и управления для каждой фазы эволюционной динамики (13).

Утверждение 1. Функции связей реализуются через последовательность неустойчивостей, которые приводят к нарушению симметрии, созданию и поддержанию аттракторных множеств, сжимающих эти структуры.

Утверждение 2. Образ $J(\rho_i)$ управляющей структуры ρ_i с ядром $N(\rho_{i+1})$ отображения ρ_{i+1} рассматривается как совокупность подсистем:

$$P_0 = N(\rho_0), P_q = N(\rho_q) = J(\rho_{q-1}), q = 1, 2, \dots \quad (14)$$

Утверждение 3. Подсистема $N(\rho_q)$ системы G_q определяет последовательность

$$N(\rho_q) \xrightarrow{\alpha_q} G_q, \quad (15)$$

где α_q – оператор включения, представляющий преобразование информации в виде:

$$G_q \rightarrow J(\rho_q) = N(\rho_{q+1}) \quad (16)$$

5 Практические приложения нестационарной динамики

Модель функционирования МПК представляют с помощью переменной состояния $u \in A$ из допустимого множества функциональных элементов A . Состояние системы взаимодействия «МДО – внешняя среда» в рассматриваемый момент времени t зависит от управляющих воздействий $u \in U$. На множестве $U \times A$ задан функционал $\Phi(u)$, определяющий эффективность функционирования МПК. Задача управления заключается в выборе допустимого управления, которое при известной реакции системы максимизирует значение показателя эффективности:

$$\Phi(u) \rightarrow \max (u \in U). \quad (17)$$

Организация МПК, как развивающейся активной динамической системы, представляется в следующем виде:

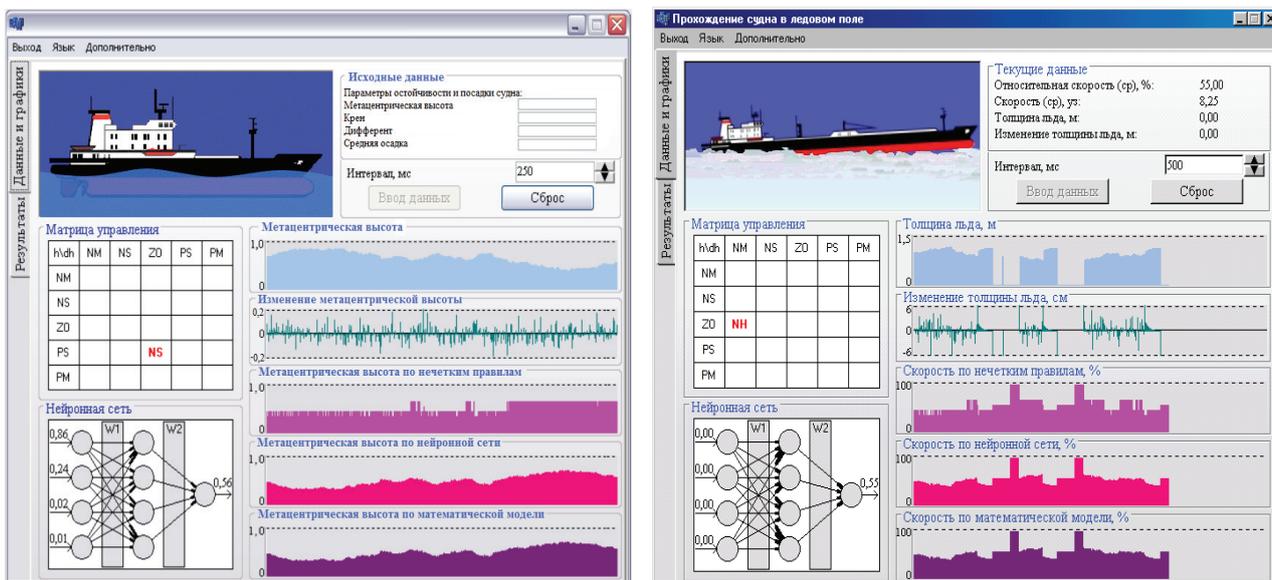
$$ADS = \langle s \in S, Str(I, U), G(Str, Dec), Int(F), P(F, E), C(S), I(Dec), U(Dec) \rangle, \quad (18)$$

где $s \in S$ – элементы системы; $Str(I, U)$ – структура системы в виде совокупности информационных и управляющих связей; $G(Str, Dec)$ – порядок функционирования (оценка состояния, генерация стратегий и выбор решения), $Int(F)$ – интервал функционирования; $P(FE)$ – предпочтения функциональных элементов; $C(S)$ – множества состояний МДО; $I(Dec)$ – информация на момент принятия решения; $U(Dec)$ – механизмы принятия управленческих решений.

Структура МПК представляет собой отображение $f : T \rightarrow X$, определяемое как сеть топологического пространства (семантическая, иерархическая, динамическая), где T – направленное множество. Сеть включена в множество $B \subset X$, если существует $t_0 < T$ такое, что

$$(t_0 < t) \Rightarrow [f_t \in B] \quad (19)$$

Примеры прогноза поведения МДО и корабельной посадки летательного аппарата (ЛА) в нестационарной среде приведены на рисунках 4 и 5. Стратегия моделирования на этих рисунках реализует принцип конкуренции, позволяющий определить предпочтительную вычислительную технологию в условиях неопределённости [4, 5].



а)

б)

Рисунок 4 – Пример прогноза поведения МДО в нестационарной среде:

а) движение в ветроволновом поле; б) движение в сложных ледовых образованиях

Стандартная модель на этих рисунках построена на основе классической теории управления, а нейронечёткая – в виде матрицы управления и структуры искусственной нейронной сети. На рисунке 4 на дорожках справа приведены результаты моделирования определяющего параметра (метацентрической высоты на рисунке 4а и толщины льда на рисунке 4б) по нечётким правилам, нейронной сети и математической модели.

На рисунке 5 представлены результаты прогноза динамических картин на основе математического моделирования движения ЛА по глассе в условиях интенсивных ветроволновых возмущений. В отличие от прогноза поведения МДО, прогноз корабельной посадки ЛА при воздействии нестационарного ветроволнового возмущения выполнен при наличии пространственных ограничений (упреждение, размеры полетной палубы и её перемещения, ха-

рактеристики МДО и др.). Ситуация обостряется при заходе на посадку во время ночных операций.

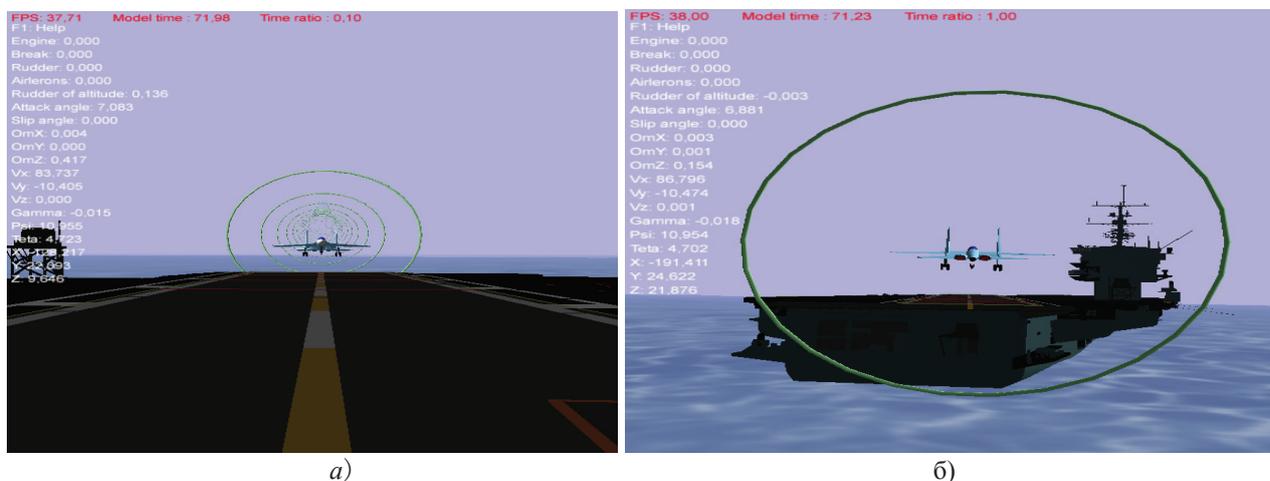


Рисунок 5 – Прогноз динамических картин, отображающих ситуации благоприятного (а) и критического (б) режима посадки ЛА на МДО

Заключение

Модель онтологической системы нестационарной динамики, определяющей функционирование МПК, позволяет описывать онтологии на разных уровнях абстракции. На основе Про МДО реализуется интеллектуальная технология, позволяющая сформулировать общий подход к построению НФС, реализовать стратегии управления и принятия решений с использованием онтологической системы. Формализация комплексной онтологии компонент системы интеллектуальной поддержки состоит в формальном описании интегрированной системы эволюционной динамики на основе методов концептуализации знания. В результате такой интеграции реализуется онтологическое множество объектов, знаний и связей между ними в рамках СТК.

Список источников

- [1] **Бухановский, А.В.** Комплексная онтология исследовательского проектирования морских динамических объектов / А.В. Бухановский, Ю.И. Нечаев // Онтология проектирования. 2011. №1(2). С.32-43.
- [2] **Томпсон, Дж. М.Т.** Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / Дж. М.Т. Томпсон // Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. 254 с.
- [3] **Арнольд, В.И.** Теория катастроф / В.И. Арнольд // 3-е изд. доп., М.: Наука, 1990. 128 с.
- [4] **Нечаев, Ю.И.** Компьютерная математика: прикладные аспекты / Ю.И. Нечаев. — Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2019. 284 с.
- [5] **Нечаев, Ю.И.** Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю.И. Нечаев. — Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.
- [6] **Солодовников, В.В.** Теория сложности и проектирование систем управления / В.В. Солодовников, В.И. Тумаркин. - М.: Наука, 1990. 341 с.
- [7] **Касты, Дж.** Большие системы: связность, сложность и катастрофы / Дж. Касты // Пер. с англ. под ред. д-ра физ.-мат. наук Ю. П. Гупало и канд. физ.-мат. наук А. А. Пионтковского – М.: Мир, 1982. 216 с.
- [8] **Siew Hoon Leong.** Towards a General Definition of Urgent Computing / Siew Hoon Leong, Dieter Kranzlmüller. Proc. Computer Science. Vol.51, 2015, P.2337-2346. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.402>.
- [9] **Бухановский, А.В.** Онтология центров компетентности на основе современной теории катастроф в интеллектуальной среде «облачной» модели / А.В. Бухановский, В.Н. Васильев, Ю.И. Нечаев // Онтология проектирования. 2013. №1(7). С.26–34.

- [10] Szalay, A. Extreme data-intensive scientific computing / A. Szalay // Computing in Science & Engineering. 2011. V.13, No 6. P.34-41.
-

Сведения об авторе



Нечаев Юрий Иванович, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Национального центра когнитивных разработок Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Международный эксперт в области высокопроизводительных вычислений и интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 2770. Author ID (Scopus): 55669900400. nechaev@mail.ifmo.ru.

Поступила в редакцию 17.01.2021, после рецензирования 11.02.2021. Принята к публикации 5.03.2021.

Ontological synthesis of non-stationary dynamics models of on-board intelligence systems

Yu.I. Nechaev

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia

Abstract

An ontological synthesis of models for interpreting non-stationary dynamics in onboard intelligence systems operating in the emergency computing mode (Urgent Computing - UC) is considered. The ontological system of a dynamic knowledge base is formulated on the basis of theoretical models of the modern catastrophe theory (CT). The analysis and forecast of the evolutionary dynamics of a non-stationary object is implemented in a multiprocessor computing environment. Within the framework of the ontological system, an approach to the interpretation of non-stationary dynamics using fractal geometry and the theory of dynamical systems stability is formulated. The practical application of the developed ontology model is discussed in relation to the interpretation of the interaction of a marine dynamic object (MDO) with the external environment at a given time interval. The dynamic CT model determines the motion of the MDO system to the target attractor and in case of stability loss. Examples of the implementation of the ontological synthesis of non-stationary dynamics in safety systems for navigation and landing of ship-based aircraft are given.

Key words: *ontological synthesis, non-stationary dynamics, modern catastrophe theory, marine dynamic object, urgent computing.*

Citation: *Nechaev YuI. Ontological synthesis of non-stationary dynamics models of on-board intelligence systems [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(1): 117-125. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-117-125.*

List of figures

- Figure 1 - Paradigm of ontological synthesis of a multi-mode software complex
Figure 2 - Ontology defining the integrated environment of a multi-mode software complex
Figure 3 - Strategic planning of non-stationary dynamics operations
Figure 4 - An example of predicting the behavior of a dynamic marine object in a non-stationary environment: a) motion in a wind-wave field; b) motion in complex ice formations
Figure 5 - Forecast of dynamic pictures, displaying situations of favorable (a) and critical (b) modes of aircraft landing on a dynamic marine object

References

- [1] **Boukhanovsky AV, Nechaev YuI.** Complex ontology of research designing of marine dynamic objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2011; 1(2): 32-43.
 - [2] **Thompson JMT.** Instabilities and Catastrophes in Science and Engineering. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. 1982.
 - [3] **Arnold VI.** Catastrophe theory [In Russian]. 3rd ed. add. Moscow: Nauka, 1990. – 128 p.
 - [4] **Nechaev YuI.** Computer mathematics: applied aspects [In Russian]. St. Petersburg: Art Express. 2019. 284 p.
 - [5] **Nechaev YuI.** Catastrophe Theory: A modern approach to decision making [In Russian]. St. Petersburg: Art Express, 2011. 392 p.
 - [6] **Solodovnikov VV, Tumarkin VI.** Complexity theory and design of control systems [In Russian]. Moscow: Science, 1990. 341 p.
 - [7] **Casti J.** Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-Scale Systems. New York University. A Wiley-Interscience Publication International Institute for Applied Systems Analysis. John Wiley & Sons Chichester - New York - Brisbane – Toronto. 1979.
 - [8] **Leong SH, Kranzlmüller D.** Towards a General Definition of Urgent Computing. Proc. Computer Science. Vol.51, 2015, P.2337-2346. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.402>.
 - [9] **Boukhanovsky AV, Vasilev VN, Nechaev YuI.** Ontology of competence centers on the basis of modern catastrophe theory in intelligent environment of the «cloud» model [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 1(7): 26–34.
 - [10] **Szalay A.** Extreme data-intensive scientific computing. *Computing in Science & Engineering*. 2011; 13(6): 34-41.
-

About the author

Yury Ivanovich Nechaev, Academician of RANS, Honored Scientist of the Russian Federation, the main scientific employee of National centre of cognitive science of the St.-Petersburg National Research University Information Technologies, Mechanics and Optics. International expert in the field of high-performance computing and intelligence systems. AuthorID (RSCI): 2770. Author ID (Scopus): 55669900400. nechaev@mail.ifmo.ru.

Received January 17, 2021. Revised February 11, 2021. Accepted March 5, 2021.

Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации

В.В. Антонов, К.А. Конев

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Аннотация

Рассмотрен метод поддержки принятия решений с использованием базы знаний. Показана актуальность исследований, связанных с принятием решений в типовых ситуациях. Рассмотрены вопросы системной интеграции нормативного базиса, онтологической модели и базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений в рамках бизнес-процесса. Сформирована модель пополнения базы знаний на структурном и аналитическом уровнях, демонстрирующая связь важнейших элементов системы: онтологической модели, базы знаний и нормативной подсистемы. Предложен алгоритм пополнения базы знаний. На основе использования теоретико-множественного аппарата описаны операции по работе со знаниями. Рассмотрены принципы адаптации онтологической модели как информационного объекта для увязки с базой знаний. Предложена концептуальная схема онтологической модели для принятия решений в рамках бизнес-процесса. Разработана и представлена информационная модель специализированной базы данных, применяемой в качестве технического базиса для построения базы знаний системы поддержки принятия решений в типовой ситуации, описаны её основные структурные элементы, принципы их взаимосвязи и подход к обеспечению непротиворечивости внутренней структуры.

Ключевые слова: принятие решений, интеллектуализация управленческой деятельности, типовая ситуация, база знаний, онтологическая модель.

Цитирование: Антонов, В.В. Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации / В.В. Антонов, К.А. Конев // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №1(39). - С.126-136. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.

Введение

Современные процессы управления связаны с обработкой больших потоков информации. Информатизация общества расширяет информационное поле и усложняет принятие решений. Большой объём информации позволяет лучше подготовить решение, но становится сложнее искать нужные данные, интегрировать разнотипную информацию, увязывать решения с целями и т.д. В результате создаётся парадоксальная ситуация: отсутствие информации при её обилии, что делает проблему обработки управленческой информации во всех сферах жизни современного общества всё более острой.

Значительное число принимаемых в организации решений фактически осуществляется не генеральным директором, а рядовыми исполнителями и руководителями нижнего уровня: специалистами, инженерами, начальниками бюро, бригад, отделов и т.д. При этом решения, принимаемые на нижних уровнях иерархии и связанные с выполнением бизнес-процессов (БП), способны как приводить предприятие к успеху, так и служить причиной его проблем.

В статье предлагается метод интеллектуализации управления в типовых ситуациях (ТС), который позволяет собирать и интегрировать информацию о решениях лиц, принимающих решения (ЛПР) в базе знаний (БЗ), предназначенный для использования на нижнем уровне управленческой иерархии.

1 Интеллектуализация управления на уровне ТС

Нижний уровень управленческой пирамиды характеризуется множеством решений, большая часть которых принимается повторно, т.е. в рамках циклического во времени БП [1]. Поскольку решения принимаются в условиях, связанных с динамикой функционирования БП, то для его описания пригодны методы ситуационного моделирования [2]. Если похожие ситуации имели место в прошлом, то их можно считать типовыми, т.е. хорошо известными и имеющими сценарии реакции на различные состояния. Процесс принятия решения в ТС можно представить как последовательность из двух этапов: «узнавание» состояния и выбор решения [3].

Этап «узнавания» (идентификации) ситуации – вычленение из возникающих на объекте управления той ситуации, для которой имеется набор конкретных элементов, позволяющих считать её типовой. Процесс «узнавания» состояния ТС рассмотрен в статье [4]. В данной работе сделан акцент на выборе решения.

Принятие и осуществление верного решения в БП адекватно устранению возникшей проблемы либо полностью, либо на определённый срок, который достаточен согласно условиям функционирования БП.

Выбор решения можно представить в виде набора следующих действий:

- собрать информацию;
- оценить ситуацию;
- принять решение;
- реализовать сценарий действий.

Мощность множества классов однотипных задач (ситуаций) бесконечна, т.е., как правило, невозможно заранее точно определить, когда такие ситуации перестанут возникать и сколько их ещё будет. Большая часть действий по сбору информации и оценке ситуации происходит на этапе «узнавания» ситуации, т.е. при классификации или при её отнесении к ранее определённому кругу ситуаций.

В реальной ТС не всегда известен сценарий решения. Может возникнуть ситуация неопределённости, когда сценария решения нет и БП развиваются во времени. Переход от известного состояния ТС к выбору сценария решения может быть осуществлён следующими вариантами действий:

- автоматически без участия ЛПР;
- путём выбора ЛПР сценария, на основе определённых критериев;
- с привлечением помимо ЛПР экспертов для формирования новых элементов системы поддержки принятия решения (СППР): новых ситуаций, новых сценариев решений, новых критериев или их новых соотношений.

Если построить базу знаний (БЗ), которая будет хранить перечень известных состояний ТС, сценариев решений и критериев, то первые два варианта сформируют её эксплуатационный режим работы, при котором ЛПР вводит признаки ситуации на вход и получает один (в первом случае) или несколько (во втором) сценариев решения с оценками вероятности их правильности. Для реализации третьего варианта потребуется перевести БЗ в режим обучения, т.е. сформировать новый прецедент или уточнить существующие.

Типовых решений в БП может быть много, а затраты на их автоматизацию и интеллектуализацию не должны быть чрезмерными. Это обстоятельство во многом определяет невысокий интерес исследователей к данной теме. Если интегрировать нормативную подсистему организации и БЗ, то появится возможность создать множество автоматизированных точек принятия решений в ТС при помощи единого функционала на основе одного хранилища ин-

формации. Изменение внешних нормативных документов будет отражаться на признаках состояний ТС и сценариях решений. При уточнении БЗ будут уточняться и внутренние нормативы, что обеспечит актуальность любых решений, принимаемых с использованием информации из БЗ [5].

Проектирование интеллектуальных СППР рассматривалось в различных сферах деятельности [6]. Для интеграции БЗ ТС, связанных с управлением в режимах эксплуатации и обучения, и нормативного базиса предлагается создание комплексной онтологической модели, содержащей определения различных понятий БП, описание функций, ресурсов, целей (назначения) и правил, ассоциированных с ними. Частичная реализация такой модели в образовательной деятельности показана в [7].

Схема процесса пополнения БЗ, построенной на основе онтологической модели, показана на рисунке 1.

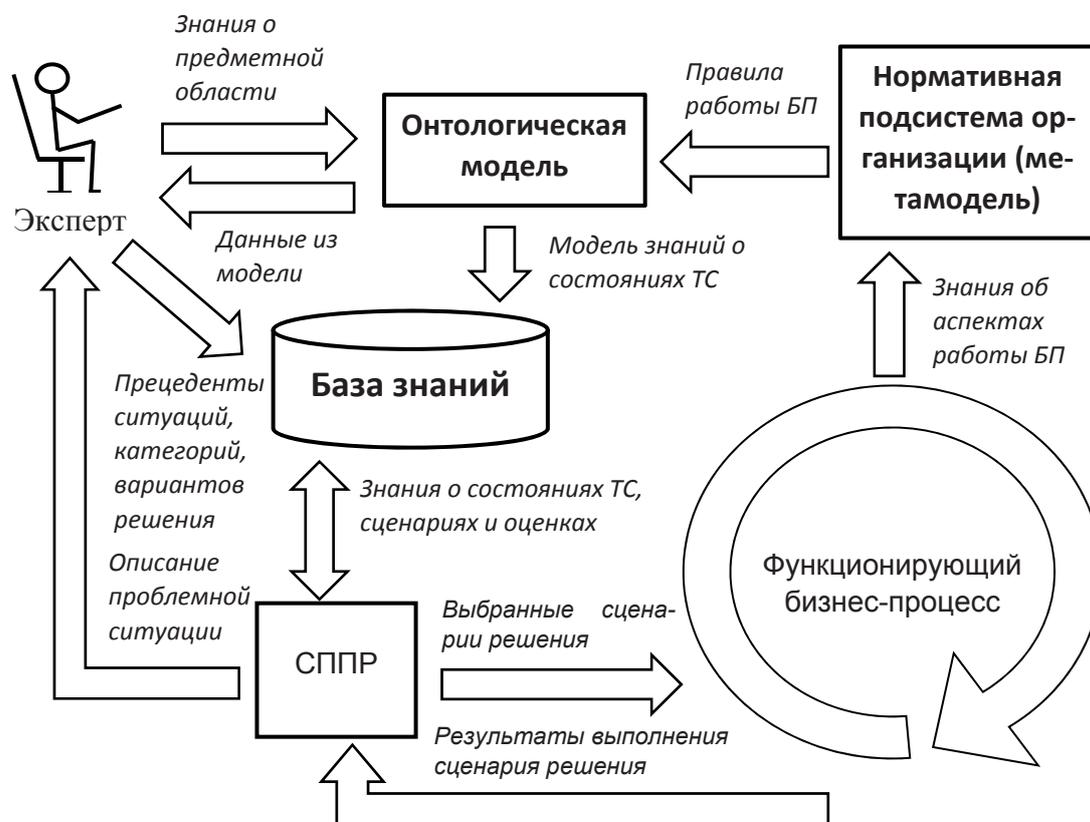


Рисунок 1 – Схема пополнения БЗ

2 Концептуальная схема пополнения БЗ прецедентами

Онтологическая модель строится на основе функциональных иерархий типа <бизнес-процесс>, состоящих из элементов типа <функция уровня i >, которые включают элементы типа <операция> [8]. Уровней функций может быть множество. Операция – неделимый элемент функции, связанный с реализацией некоторого действия по преобразованию ресурсов. БП, функции и операции связаны на своём уровне отношениями «следования» (например, один БП предшествует другому и передаёт ему свои результаты), «ассоциации» (например, один БП делит общие ресурсы с другим). Кроме того, все уровни онтологии связаны с ресурсами, правилами, целями.

Уточнение онтологической модели в части структуры БП, правил, ресурсов или целей будет автоматически влиять на связанные сценарии. В практическом аспекте – это задача классификации и кодирования фрагментов онтологической модели.

Пример. Пусть в стандарте под названием «Управление стандартами предприятия» имеется раздел, в котором описан набор операций, связанных с возвратом стандарта на доработку при выявлении согласующим лицом ошибок. Тогда в онтологической модели в функции «согласование стандарта» (F_SA) будет следующий набор операций: «сформировать рецензию, в которой описать причину возврата на доработку» (F_SA1), «вернуть текст документа разработчику с рецензией для бумажных документов» (F_SA2). Если на предприятии параллельно с бумажными стандартами введены электронные, то эксперт включает в онтологическую модель новую операцию, поменяв статус F_SA на F_SA^{imp} «переслать разработчику рецензию для электронных документов» (F_SA2_1). Применительно к БЗ это будет представлено как аддитивная операция по отношению к множеству F_SA :

$$F_SA^{imp} = \{F_SA1, F_SA2\} \cup F_SA2_1 \quad (1)$$

Создание новых правил связано с различными вариантами пополнения БЗ:

- добавление новых ТС;
- уточнение ТС;
- добавление новых сценариев и критериев их отбора;
- уточнение сценариев;
- уточнение критериев отбора сценариев для состояния (ситуации).

В алгоритме пополнения БЗ инициация уточнения онтологической модели и связанной с ней БЗ происходит по запросу ЛПР, попавшего ситуацию с критической неопределённостью, либо при изменении нормативного базиса в той части БП, который связан с конкретной ТС принятия решений (см. рисунок 2).

Если проблема поднята ЛПР, то собирается экспертный совет, который формулирует новый вариант решения, либо осуществляет иной вариант уточнения онтологической модели и БЗ. Затем вводятся изменения в нормативные документы и в БЗ, которые могут автоматически выгружаться в стандарты, положения и инструкции из онтологической модели. Если изменения являются реакцией на уточнение нормативной документации, то привлекается эксперт по

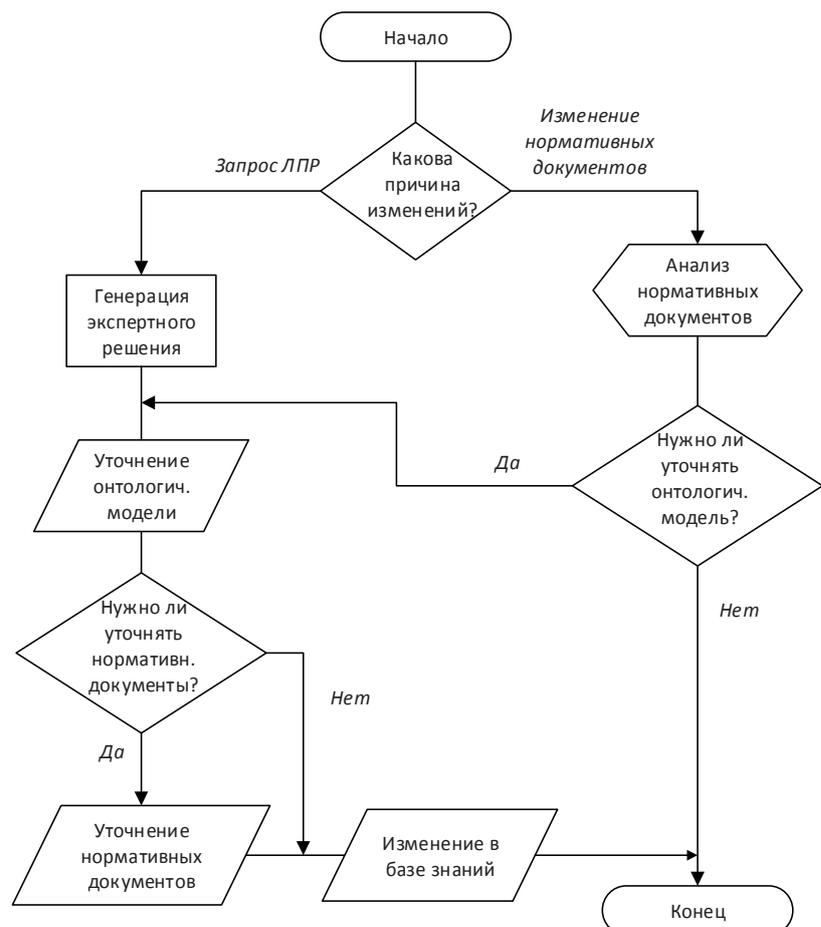


Рисунок 2 - Алгоритм пополнения БЗ на основе онтологической модели

стандартизации, который совместно с ЛПР актуализирует все элементы ТС, её состояния и сценарии решений, а также все показатели и критерии, позволяющие определять нужное состояние ТС и выбирать сценарий решения.

3 Теоретико-множественный аспект пополнения БЗ

Для представления знаний в БЗ применяются методы на основе семантических сетей, фреймов, логического программирования, экспертных систем и т.д. [9].

Процесс представления знаний может быть рассмотрен в трёх аспектах: в нормативном базисе, в онтологической модели и в БЗ. Возможность по преобразованию одного представления в другое открывается только тогда, когда существует способ построения моделей каждой из систем на основе однородных элементов.

Базовые логические элементы для каждого из аспектов:

- в нормативном базисе базовым элементом является описание БП (функции, операции) и правила, которые можно представить, как множество условий «ЕСЛИ – ТО» (например, запись «осуществлять проверку ежемесячно», можно представить в виде записи «если наступило число N , то выполнить проверку»);
- онтология, включает понятийный аппарат, описание функций, ресурсов, целей и правил, ассоциированных с БП (функциями, операциями) на основе тех же условий «ЕСЛИ – ТО» (например, связь между понятиями «журнал регистрации подлинников» и «учёт подлинников» формирует правило: «если нужно производить учёт, то нужен журнал регистрации подлинников»);
- БЗ строится на основе базы данных (БД), где её основным аналитическим компонентом также является совокупность правил «ЕСЛИ – ТО» (например, «если вероятность приемлемости сценария решения о необходимости подписать договор без замечаний больше критерия N , то демонстрируем данный сценарий ЛПР»).

Правила логического вывода в БЗ могут отличаться по описанию от правил в онтологической модели и от правил в нормативных документах, но семантическое ядро у них едино, и они могут быть преобразованы из одного представления в другое.

Для создания общей модели описания таких правил введены понятия: причина (B), критерий (X) и результат (S). Тогда в общем виде правило записывается следующим образом:

$$B \rightarrow^X S. \quad (2)$$

Т.е. некоторая причина при выполнении условий, заданных критерием или вектором критериев, приводит к определённому результату. С помощью (2) могут быть описаны нормативный документ, онтологическая модель или элементы БЗ.

Чтобы рассмотреть схему пополнения БЗ, множество правил обозначено как (N), а правило декомпозировано на составляющие компоненты: множество ассоциированных функций (F), выступающих в качестве классификационных категорий для правил, определяющих их место в БП; множество ресурсов (R), которые необходимы для реализации правил (если они требуются); множество условий (C) – состояний ТС, множество последствий (V) – сценариев решений. Не всегда одному состоянию ситуации соответствует один сценарий решения, поэтому целесообразно введение множества показателей (P) и критериев (Cr), которые определяют, соответственно, измеримые свойства состояния ТС и диапазоны значений, указывающих на тот или иной подходящий сценарий решения.

Тогда соотношение этих множеств в общем виде может быть представлено так:

$$N = f(F, R, C, V, P, Cr) \quad (3)$$

Целесообразно рассмотреть аналитические выражения для каждого из вариантов пополнения знаний (см. раздел 2):

Добавление ТС. Если есть состояние ситуации $C^{new} \notin \{ C \}$, то добавление нового элемента имеет вид:

$$\{ C \} = \{ C \} \cup C^{new}. \quad (4)$$

Поскольку состояние само по себе решения не даёт, то необходимо проверить $\exists V_i$ и $\exists Cr_j$ таких, что для определённых значений $Cr_j: C^{new} \rightarrow V_i$, т.е. наличие сценариев и критериев для данной «new» ситуации. Причём если не $\exists V_i$ и не $\exists Cr_j$, то вводятся V^{new} и Cr^{new} .

Уточнение ТС. Если есть состояние ситуации $C^k \in \{ C \}$, которое следует преобразовать $C^k \rightarrow C^{k-new}$, то уточнение ситуации имеет вид:

$$\{ C \} = \{ C \} \cap C^k \cup C^{k-new}. \quad (5)$$

Необходимо проверить выполнение условия $Cr_{jk}: C^{k-new} \rightarrow V_{ik}$. Если оно не соблюдается, то возможен переход в режим добавления новых сценариев (если не $\exists V_{ik}$), уточнения сценариев (если $\exists V_{ik}$, но $V_{ik} \notin \{ V \}$ для C^{k-new}) или уточнения критериев (если $Cr_{jk} \notin \{ Cr \}$ для C^{k-new}).

Добавление новых сценариев и критериев их отбора. Если в условии $Cr_{jk}: C^k \rightarrow V_{ik}$, где не $\exists V_{ik}$, то необходимо создать $V_{ik}^{new} \in \{ V \}$, т.е. добавление нового сценария имеет вид:

$$\{ V \} = \{ V \} \cup V_{ik}^{new}. \quad (6)$$

Аналогично при необходимости новых критериев (если $Cr_{jk} \notin \{ Cr \}$ для C^{k-new}), то добавление нового критерия имеет вид:

$$\{ Cr \} = \{ Cr \} \cup Cr_{jk}^{new}. \quad (7)$$

Уточнение сценариев. Если есть сценарий решения $V^h \in \{ V \}$, который следует преобразовать $V^h \rightarrow V^{h-new}$, то уточнение сценария имеет вид:

$$\{ V \} = \{ V \} \cap V^h \cup V^{h-new}. \quad (8)$$

Уточнение критериев отбора сценариев для состояния. Если есть сценарий решения $Cr^g \in \{ Cr \}$, который следует преобразовать $Cr^g \rightarrow Cr^{g-new}$, то уточнение критерия имеет вид:

$$\{ Cr \} = \{ Cr \} \cap Cr^g \cup Cr^{g-new}. \quad (9)$$

В реальности можно создавать виртуальные состояния ТС, сценарии решения и критерии. Если изменения инициированы уточнением нормативной базы, то эксперт прописывает новые состояния, сценарии и критерии в онтологическую модель и БЗ. Данные элементы станут частью объективной реальности тогда, когда ЛПР окажется в ситуации, в которой данные элементы можно будет использовать.

На объекте может сложиться неопределённая ситуация, когда система не может определить состояние ТС, либо не определены критерии выбора сценария, либо не определён сценарий. Если в конкретный момент времени невозможно собрать экспертный совет и определить данные элементы, то вводятся специальные пустые элементы «Требуется определения», которые являются виртуальными элементами и переопределяются тогда, когда эксперты определяют их реальные значения.

4 Адаптация онтологической модели и БЗ

Учитывая, что онтологическая модель разрабатывается для БП, который состоит из функций, в качестве базового принято понятие функции. Функции в процессе обычно связаны иерархически от общих к конкретным. БП - сложная функция, нагруженная правилами и целями. Если отождествить процесс и функцию, то процесс становится иерархической струк-

турой, в которой есть главные функции, подпроцессы и их функции и далее до самых простых операций. Концепции онтологического моделирования рассмотрены в [11]. Концептуальная схема онтологической модели, на основе которой может быть построена БЗ, приведена на рисунке 3.

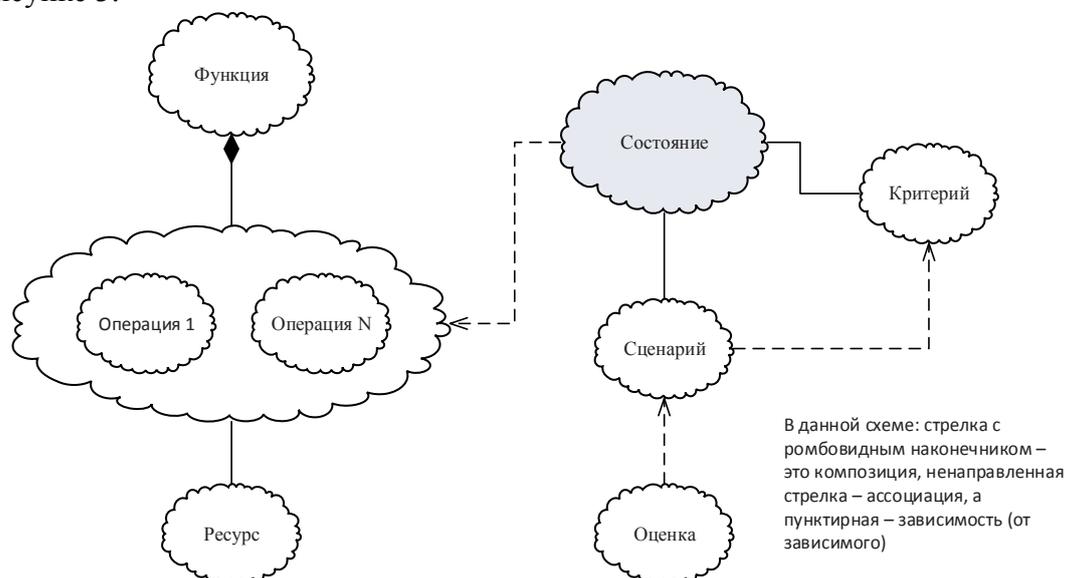


Рисунок 3 - Концептуальная схема онтологической модели БП

Часть операций может быть увязана с состояниями ТС или сценариями (элементами сценариев) решений, принимаемых в этих ситуациях. В этом случае все операции в модели можно определить как связанные с принятием решений и не связанные с ним. Если результатом связанной с принятием решений операции является состояние ТС, то это операция выбора. Если операция реализуется как сценарий или элемент сценария решения, то это операция решения. Следовательно, каждой операции можно задать атрибут связи с принятием решений из множества: «нет связи», «операция выбора», «операция решения».

Функции связаны иерархически, и между ними есть причинно-следственные отношения, отношения ассоциации, отношения обобщения и т.д. Наложение отношений на функции любого БП даёт структуру, которая вписывается в определение онтологической модели. Дополнительные признаки в виде атрибутов связи с принятием решений на эту картину не влияют.

Рационально введение в модель понятия «критерий», который физически будет выглядеть как условие реализации причинно-следственного перехода (условное причинно-следственное отношение) от операции выбора к операции решению, что также вполне вписывается в схему онтологического моделирования.

Необходимые для реализации функции ресурсы (деньги, люди, энергия, материал, оборудование и т.д.) можно связать с ней ассоциацией. Для этого введено понятие «отношение измеримой ассоциации», т.е. такое, в котором можно задать необходимое количество требуемого ресурса.

Чтение онтологической модели БП и стандарта организации, посвящённого этому процессу, даёт одинаковую информацию о функциях, их порядке и ресурсах, необходимых для реализации. Для лучшего понимания исполнителями слабоформализованные текстовые модели, к которым относится стандарт организации, обычно дополняются пояснениями, которые зачастую формируются на основе опыта, в том числе связанного с ошибками, кризисами и т.д. Для обеспечения учёта особенностей нормативных документов в онтологической модели следует ввести атрибут «пояснение» к каждому процессу, функции или операции, а

также атрибут «ссылка», указывающий на шаблон, пример, прямое заимствование подобных правил, обоснование требования и т.д.

Важным аспектом любой модели является её качество. С операциями выбора и операциями решений следует ассоциировать сущность «оценка», которая может формироваться вручную экспертом или автоматически на основе БЗ.

5 Структура данных в БЗ

БЗ представляет собой БД специального вида совместно со специализированным механизмом ввода-вывода [12],[13]. Для реализации БЗ для рассмотренных в статье задач используется структура реляционной БД [14], которая пригодна для хранения элементов онтологической модели и БЗ.

Центральной таблицей БД, на основе которой будет функционировать БЗ, является таблица функций. В ядро БД также входят таблицы: *отношений*, которая устанавливает множество разнообразных отношений между функциями; *критериев*, определяющая условия для связей между операциями выбора и операциями решений; *ТС*; *сценариев*; *ресурсов*; *описаний*; хранения оценочной информации – таблицу *оценок*. БЗ имеет описанный функционал, для хранения элементов которого используется таблица вспомогательных данных.

На рисунке 4 показана концептуальная информационная модель данных, используемых для организации БЗ. Функция может иметь множество отношений с другими функциями, отношения могут различаться по типам и относиться к входящим или исходящим.

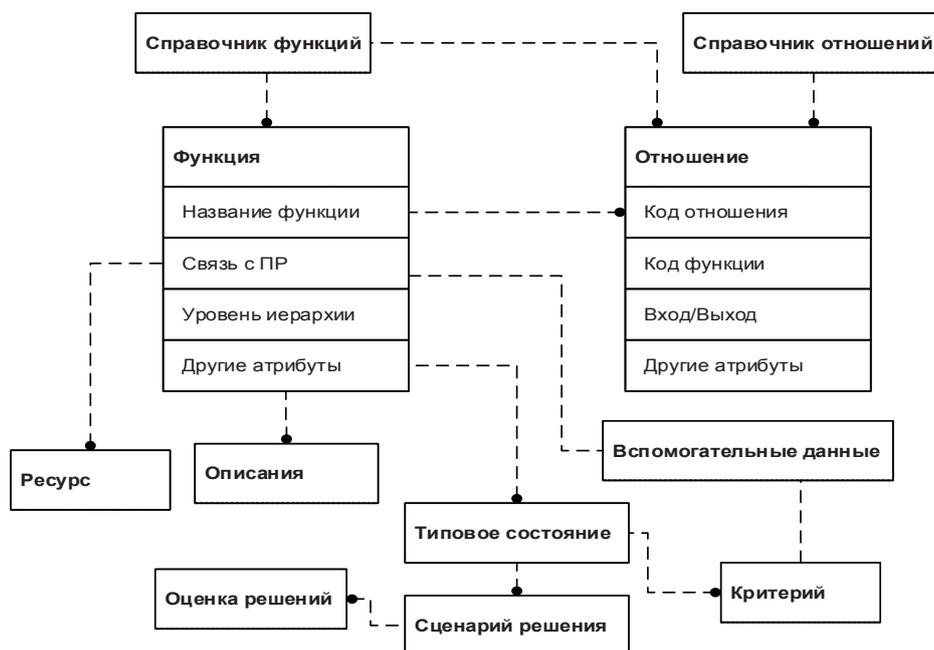


Рисунок 4 - Концептуальная информационная модель данных, используемых для организации БЗ

Для реализации интеллектуальной составляющей БЗ таблица оценок хранит данные об оценках сценариев решений. Механизм отбора вариантов БЗ на основе сохранённого опыта принятия решений и экспертных оценок формирует предложения для ЛППР в виде набора вариантов решения с оценочной вероятностью их наибольшего соответствия наблюдаемому состоянию ТС. Таблица оценок может быть расширена при необходимости хранения количественных показателей.

Необходимо обеспечение непротиворечивости модели данных в БЗ, чтобы БД отвечала условию целостности.

Заключение

Предложен метод использования интеграции трёх различных технологий: онтологического моделирования, интеллектуализации и нормирования, который может осуществлять прогнозирование возникновения нештатных ситуаций, повысить безопасность системы и возможность выявления потенциально слабых и опасных звеньев системы.

При создании онтологической модели ТС, связанной с управлением в БП, происходит отображение в ней всех объектов системы на этапах их жизненного цикла с использованием разнородных данных.

Благодарности

Исследование проводится при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2020-0007.

Список источников

- [1] **Кельчевская, Н.Р.** Интеллектуализация управления как основа эффективного развития предприятия / Н.Р. Кельчевская. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2002. – 146 с.
- [2] **Поспелов, Д.А.** Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [3] **Бережная, Е.В.** Методы и модели принятия управленческих решений / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Инфра-М, 2016. – 384 с.
- [4] **Антонов, В.В.** Ситуационно-онтологическая методология принятия решений на примере бизнес-процессов авиаприборостроительного предприятия / В.В. Антонов, К.А. Конев, В.А. Суворова, Г.Г. Куликов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. Т. 21. № 1. С.102-115.
- [5] **Одинцов, Б.Е.** Интеллектуальные информационные системы и технологии в экономике / Б.Е. Одинцов, А.Н. Романов, В.И. Соловьев, В.В. Дудихин. – М.: ЦЕНТРКАТАЛОГ, 2019. – 336 с.
- [6] **Сорокин, А.Б.** Концептуальное проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений / А.Б. Сорокин // Онтология проектирования. 2017. – Т. 7, №3(25). - С.247-269. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.
- [7] **Конев, К.А.** Принятие решений на основе онтологической модели учебной дисциплины / К.А. Конев // Информатизация образования и науки. 2020. № 4 (48). С. 124-134.
- [8] **Добров, Б.В.** Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.
- [9] **Джарратано, Дж.** Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. 4-е изд. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.
- [10] **Цуканова, Н.И.** Онтологическая модель представления и организации знаний / Н.И. Цуканова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 272 с.
- [11] **Конев, К.А.** Основы концепции онтологического моделирования бизнес-процессов для задач принятия решений / К.А. Конев, В.В. Антонов, Д.А. Ризванов, С.Г. Селиванов, Н.С. Бакусова // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 12-1. С.71-77.
- [12] **Абдикеев, Н.М.** Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса / Н.М. Абдикеев, А.Д. Киселёв – М.: ИНФРА-М, 2011. – 382 с.
- [13] **Богуславский, И.М.** Онтология для поддержки задач извлечения смысла из текста на естественном языке / И.М. Богуславский, В.Г. Диконов, С.П. Тимошенко // Информационные технологии и системы. 2012. С.152–161.
- [14] **Нестеров, С.А.** Базы данных / С.А. Нестеров. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 230 с.

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 государственного авиационного технического университета (УГАТУ), 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 УГАТУ. В списке научных трудов около 30 работ в области систем поддержки принятия решений. AuthorID (РИНЦ): 544899. sireo@rambler.ru.

Поступила в редакцию 24.02.2021, после рецензирования 11.03.2021. Принята к публикации 19.03.2021.

Intelligent decision support method in a typical situation

V.V. Antonov, K.A. Konev

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

Abstract

The article discusses a decision support method using a knowledge base. The relevance of the study of issues related to decision-making in typical situations is shown. In order to increase the effectiveness of management activities, the issues of system integration of the regulatory framework, ontological model and knowledge base of the intelligent subsystem of decision support within the framework of the business process are considered. In support of the proposed method, a model has been formed for replenishing the knowledge base both at the structural and analytical levels, which demonstrates the connection between the most important elements of the system: the ontological model, the knowledge base and the normative subsystem. An example of using the proposed scheme is shown. To demonstrate the model of functioning of the decision support system, an algorithm for replenishing the knowledge base is proposed and described. As a conceptual basis for the formal description of the model, operations for working with knowledge are described in the set-theoretic aspect. The principles of adaptation of the ontological model as an information object for linking with the knowledge base are considered. The conceptual diagram of the general structure of the ontological model for making decisions within the framework of the business process as a set of interrelated concepts is proposed and demonstrated. An information model of a specialized database has been developed and presented, serving as a technical basis for building a knowledge base of a decision support system in a typical situation, its main structural elements, the principles of their interrelation and an approach to ensuring the consistency of its internal structure are described.

Key words: decision making, intellectualization of management activity, typical situation, knowledge base, ontological model.

Citation: 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.

Acknowledgments: 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.

List of figures

Figure 1 - Knowledge base development scheme

Figure 2 - Knowledge base refinement algorithm based on ontological model

Figure 3 - Conceptual diagram of the ontological model

Figure 4 - Conceptual information model of data used to organize the knowledge base

References

- [1] **Kelchevskaya NR**. Intellectualization of management as the basis for effective enterprise development [In Russian]. Ekaterinburg: GOU VPO USTU - UPI, 2002. 146 p.
- [2] **Pospelov DA**. Situational management. Theory and practice [In Russian]. Moscow: Nauka, 1986. 288 p.
- [3] **Berezhnaya EV, Berezhnaya VI**. Methods and models for making managerial decisions [In Russian]. Moscow: Infra-M, 2016. 384 p.
- [4] **Antonov VV, Konev KA, Suvorov VA, Kulikov GG**. Situational-ontological methodology of decision-making on the example of business processes of an aircraft instrument-building enterprise [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, electronics*. 2021; 21(1): 102-115.
- [5] **Odintsov BE, Romanov AN, Soloviev VI, Dudikhin VV**. Intelligent information systems and technologies in the economy [In Russian]. Moscow: TSENTRKATALOG, 2019. 336 p.
- [6] **Sorokin AB**. Conceptual design of intelligent decision support systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 247-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.
- [7] **Konev KA**. Decision making based on the ontological model of the academic discipline [In Russian]. *Informatization of education and science*. 2020; 4(48): 124-134.
- [8] **Dobrov BV, Ivanov VV, Lukashovich NV, Soloviev VD**. Ontologies and thesauri: models, tools, applications [In Russian]. M.: Binom. Knowledge Laboratory, 2009. 173 p.
- [9] **Jarratano J, Riley G**. Expert systems: design principles and programming [In Russian]. 4th ed. - Tran. from English. Moscow: Williams, 2007. 1152 p.
- [10] **Tsukanova NI**. Ontological model of knowledge representation and organization [In Russian]. Moscow: Hotline-Telecom, 2015. 272 p.
- [11] **Konev KA, Antonov VV, Rizvanov DA, Selivanov SG, Bakusova NS**. Fundamentals of the concept of ontological modeling of business processes for decision-making tasks [In Russian]. *Modern high technologies*. 2020; 12-1: 71-77.
- [12] **Abdikeyev NM, Kiselev AD**. Corporate knowledge management and business reengineering: [In Russian]. Moscow: INFRA-M, 2011. 382 p.
- [13] **Boguslavsky IM, Dikonov VG, Tymoshenko SP**. Ontology for supporting the tasks of extracting meaning from a text in natural language [In Russian]. *Information technologies and systems*. 2012. Pp. 152-161.
- [14] **Nesterov SA**. Databases [In Russian]. Moscow: Yurayt Publishing House, 2016. 230 p.

About the authors

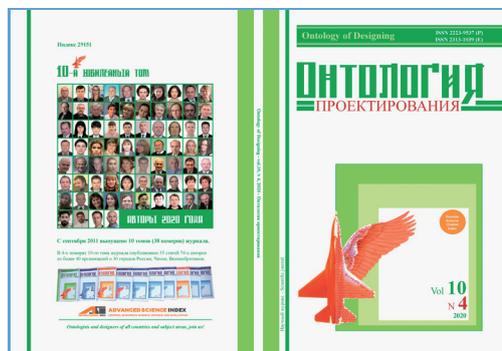
Vyacheslav Viktorovich Antonov, (b. 1956) graduated from Bashkir State University (1979), Ph.D. (2007), D.Sc. (2015). Head of the Department of Automated Control Systems of Ufa State Aviation Technical University (USATU), Professor of the Department of Management in Internal Affairs of the Ufa Law Institute 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, USATU. The list of scientific works includes about 30 works in the field of decision support systems. AuthorID (РИИЦ): 544899. sireo@rambler.ru.

Received 24.02.2021. Revised March 11, 2021. Accepted March 19, 2021.

Индекс 29151

*Нам очень важно знать Ваше мнение о журнале,
спасибо что Вы с нами!*



... Примите благодарность за высланный в мой адрес юбилейный номер Вашего журнала «Онтология проектирования».

Совместными усилиями редколлегии и сотрудников создан журнал, который проводит мосты между мировоззренческими и техническими проблемами; журнал, не упирающийся в жёсткий каркас математизации всего и вся; журнал, отражающий пути логического познания связей в нашем целостном мире, в котором всё зависимо от всего. И где вопросы экологии неотделимы

от вопросов производств, вопросы культуры тесно связаны с вопросами экономики и безопасности, вопросы этики с вопросами эффективности...

И в этом отношении журнал уникален для России!

Я регулярно смотрю публикации в Вашем журнале, находя в них много интересных для себя материалов. Меня привлекает язык редакционных публикаций: живой, образный. За ним чувствуется огонь энтузиазма в глазах авторов этих материалов, что дорогого стоит!

От своего имени и от имени Владимира Юрьевича Кнеллера с большим удовольствием поздравляю Вас и всех сотрудников журнала со столь значимым юбилеем. Успехов в вашем многотрудном деле! Желаем долгих лет журналу «Онтология проектирования»!

С огромным уважением, В.Ю. Кнеллер, А.М. Фаянс (29.01.2021)

... Позвольте преданному Вашему научному направлению и журналу автору передать Вам сердечные поздравления и самые наилучшие пожелания. Для меня, специалиста в области искусственного интеллекта в промышленности, Ваш журнал - просто дар небесный. Он представляет собой уникальный сплав философских основ и инженерии...

Да сопровождает нас удача!

С уважением, Георгий Евгеньев (27.12.2019)

... В Вашем журнале печататься - одно удовольствие. Другого такого не знаю. Даются заинтересованные и квалифицированные замечания по содержанию работы и далее автор и рецензент работают как партнёры. Фактически рецензент становится соавтором работы как в случае данной статьи. Вы помогли мне по новому посмотреть на многие вещи и в результате появилось новое качество работы, за что я весьма благодарен...

С уважением, С.В. Микони (23.04.2019)

... Спасибо большое за ваш чудесный журнал, номера которого Вы регулярно мне посылаете. Я понимаю, какой это труд и усилия - так долго уже и, главное, качественно издавать научный журнал... Журнал я читаю, активно пропагандирую, а мои аспиранты его регулярно используют. Желаю Вам и вашим коллегам здоровья, энергии и энтузиазма для процветания!

С уважением и признательностью, Татьяна Гаврилова (03.09.2018)

... Выражаю Вам глубокое признание за большой вклад в развитие проблемы интерпретации знаний и возможность публикации в престижном журнале «Онтология проектирования» по вопросам теории и практики интеллектуальных систем... От имени моих английских и американских друзей и коллег передаю Вам и членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» пожелание успехов в научной работе.

Искренне Ваш Ю.И. Нечаев (декабрь 2012)

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