

Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)

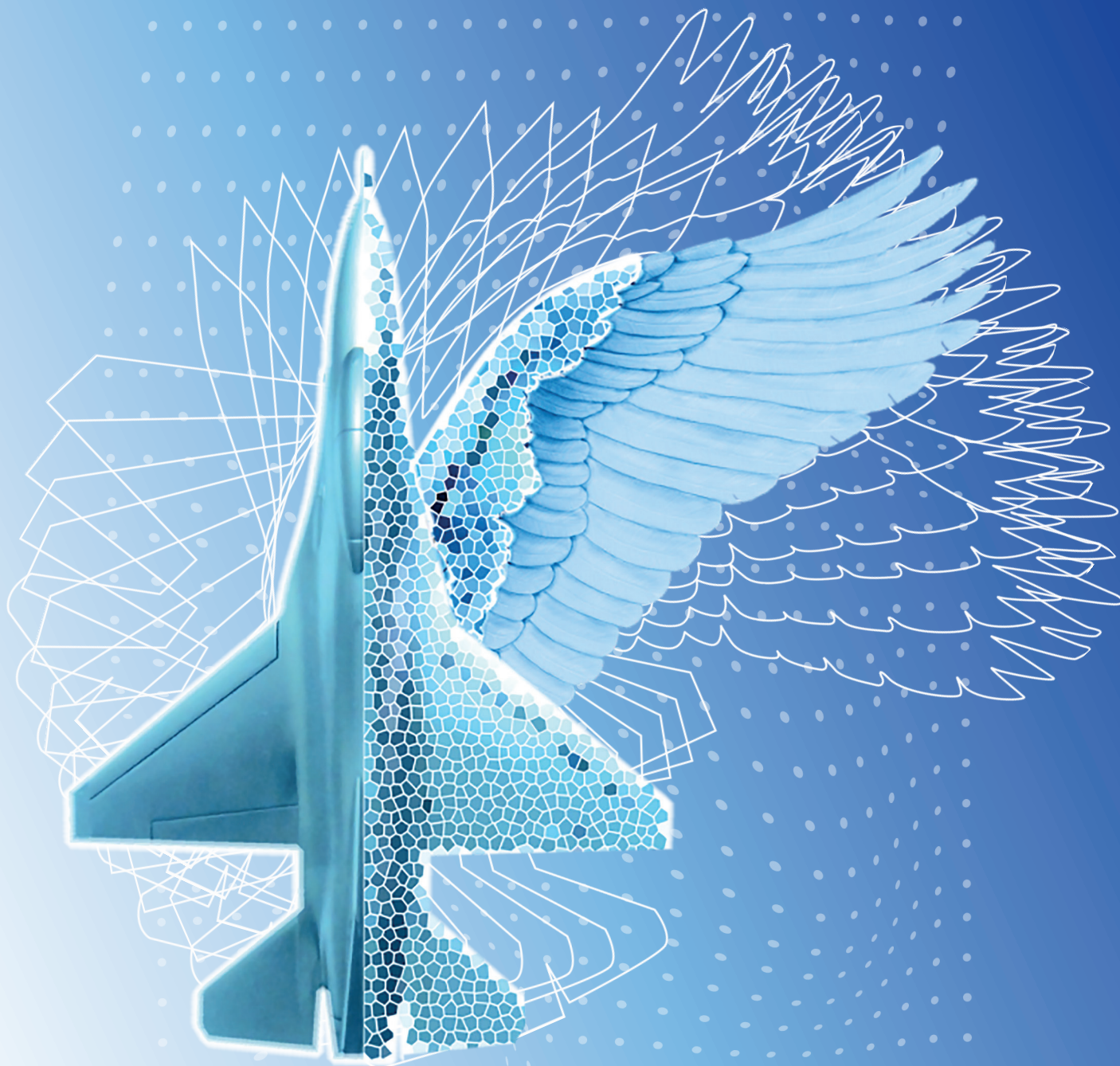
ISSN 2313-1039 (E)

ОНТОЛОГИЯ

Vol 14
2024
№3

Научный журнал -
Scientific journal

ПРОЕКТИРОВАНИЯ



300 лет
Российской
1724 - 2024 академии наук



Передовые
инженерные
школы

Scientific journal

Volume 14

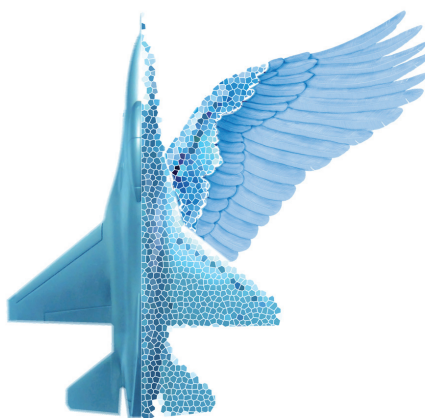
N 3

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 14

№ 3



Editorial Board - Редакционная коллегия

Nikolay M. **Borgest***, Ph.D., Associate Professor, Samara University, Member of IAQA, AAAl. 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, JSC «EVRIKA», St. Petersburg, Russia
 Valeriya V. **Gribova***, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAS, Senior Researcher, IAPU of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia
 Yury A. **Zagorulko***, Ph.D., Senior Researcher, ISI of the Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
 Valery A. **Komarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Vladik **Kreinovich**, Ph.D., Professor, University of Texas at El Paso, El Paso, USA
 Venedikt S. **Kuzmichev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara University, Samara, Russia
 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, Prague, Czech Republic
 Lyudmila V. **Massel***, Doctor of Technical Sciences, Professor, ISEM of the Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia
 Aleksandr Yu. **Nesterov**, Doctor of Philosophy, Professor, Samara University, Samara, Russia
 Dmitry A. **Novikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, ICS RAS, Moscow, Russia
 Alexander V. **Palagin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NASU, Ins. of Cybernetics, Kiev, Ukraine
 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, SamSC of RAS, Samara, Russia
 Sergey V. **Smirnov***, Doctor of Technical Sciences, ICCS RAS, member of IAQA, Samara, Russia
 Dzhavdet S. **Suleymanov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the AS of the RT, Kazan, Russia
 Boris E. **Fedunov***, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia
 Andrei A. **Cherepashkov***, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Samara State Technical University, Samara, Russia
 Altynbek **Sharipbay***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Artificial Intelligence, Astana, Kazakhstan

Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., доцент, Самарский университет, член ИАОА, АААИ. 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, АО «Эврика», Санкт-Петербург, Россия
Грибова Валерия Викторовна*, д.т.н., член-корреспондент РАН, г.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
Загорюлько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия
Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Крейнвич Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо, США
Кузьмичев Венедикт Степанович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев, Украина
Лейтао Пауло, профессор, Политехнический институт Браганса, Браганса, Португалия
Марик Владимир, профессор, научный директор ЧИИРК Чешского технического университета, Прага, Республика Чехия
Массель Людмила Васильевна*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск, Россия
Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия
Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва, Россия
Палагин Александр Васильевич, д.т.н., профессор, академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, Киев, Украина
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., СамНЦ РАН, Самара, Россия
Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, член ИАОА, 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
Черепашков Андрей Александрович*, д.т.н., доцент, СамГТУ, Самара, Россия
Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Ин-т искусственного интеллекта, Астана, Казахстан

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

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Chief Editor **P.O. Skobelev** Samara, Russia
 Deputy Chief Editor **S.V. Smirnov** Samara, Russia
 Executive Editor **N.M. Borgest** Samara, Russia
 Editor **D.M. Kozlov** Samara, Russia
 Technical Editor **D.N. Borgest** Samara, Russia
 Executive Secretary **S.A. Vlasov** Samara, Russia

Главный редактор Скобелев П.О. СамНЦ РАН, Самара, Россия
 Зам. главного редактора Смирнов С.В. ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, Самара, Россия
 Выпускающий редактор Боргест Н.М. Самарский университет, Самара, Россия
 Редактор Козлов Д.М. Самарский университет, Самара, Россия
 Технический редактор Боргест Д.Н. Самарский университет, Самара, Россия
 Ответственный секретарь Власов С.А. Самарский университет, Самара, Россия

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 (Перечень ВАК с 01.12.2015) по научным специальностям 1.2.2., 2.3.1., 2.3.4., 2.3.5., 2.3.7., 2.3.8., 2.5.1., 2.5.13., 2.5.15., 5.12.4.

Журнал включен в список журналов, входящих в базу данных **Russian Science Citation Index (RSCI)** на платформе **Web of Science**. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ **1.280** (2015), **1.083** (2016), **0.993** (2017), **1.205** (2018), **0.835** (2019), **1.060** (2020), **0.977** (2021), **0.895** (2022).

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

В поисках выхода из «пещеры Платона» 305-310

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.В. Иващенко, М.В. Александрова, Д.С. Жейков, А.Ю. Нестеров 311-323
Семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах
медицинских приложений

В.В. Антонов, Н.А. Кононов, Е.В. Пальчевский 324-334
Категориальный анализ логики в концептуальном моделировании предметных областей
для семантической целостности информационных ресурсов

А.А. Ямпольский 335-343
Когнитивные проблемы освоения графических дисциплин при подготовке инженеров

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.С. Мошкин, И.А. Щукарев 344-354
Информационная система на основе фармацевтической онтологии

Д.Л. Напольских 355-365
Подход к разработке онтологии кластера

А.Р. Гатиатуллин, Н.А. Прокопьев, Д.Ш. Сулейманов 366-378
Модель лингвистических графов знаний тюркских языков

Ю.В. Сложеникина, А.С. Зайцева 379-390
Онтология нового термина

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

А.А. Зуенко, О.Н. Зуенко 391-407
Кластеризация с использованием методов удовлетворения табличных ограничений

Н.А. Бусько, Е.В. Федорченко, И.В. Котенко 408-420
Автоматическое оценивание эксплойтов на основе методов глубокого обучения

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.В. Смирнов, Т.В. Левашова 421-439
Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений

С.В. Микони, Б.В. Соколов, Д.П. Бураков 440-456
Система выбора и ранжирования альтернатив СВБРЬ-М:
теоретические основы и практика применения

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/, а также на <https://www.ontology-of-designing.ru/>.

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



Контакты соучредителей

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

СамНЦ РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smirnov@iccs.ru.

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

Отпечатано в ООО «Новая техника» (типография), 443013, г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 2.08.2024. Тираж 200 экз. Свободная цена. (6+).

CONTENTS

EDITORIAL

- Looking for a way out of Plato's cave 305-310

GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS AND COGNITIVE MODELING

- A.V. Ivaschenko, M.V. Aleksandrova, D.S. Zheikov, A.Yu. Nesterov** 311-323
Semiosis of visual stimuli in interactive user interfaces of medical applications
- V.V. Antonov, N.A. Kononov, E.V. Palchevsky** 324-334
Categorical analysis of logic in conceptual modeling of subject areas
for semantic integrity of information resources
- A.A. Yampolskiy** 335-343
Cognitive challenges in teaching graphic disciplines to engineering specialists

APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

- V.S. Moshkin, I.A. Shchukarev** 344-354
Information system based on a pharmaceutical ontology
- D.L. Napolskikh** 355-365
Approach to developing a cluster ontology
- A.R. Gatiatullin, N.A. Prokopyev, D.S. Suleymanov** 366-378
Model of linguistic knowledge graphs of Turkic languages
- Yu.V. Slozhenikina, A.S. Zaitseva** 379-390
Ontology of the new term

ONTOLOGY ENGINEERING

- A.A. Zuenko, O.N. Zuenko** 391-407
Clustering using table constraint satisfaction methods
- N.A. Busko, E.V. Fedorchenko, I.V. Kotenko** 408-420
Automatic exploit assessment based on deep learning methods

METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

- A.V. Smirnov, T.V. Levashova** 421-439
Ontology of human-machine collaboration patterns for decision support
- S.V. Mikoni, B.V. Sokolov, D.P. Burakov** 440-456
SVIR-M, selection and ranking alternatives system:
theoretical foundations and practice of application

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

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



http://agora.guru.ru/scientific_journal/, and <https://www.ontology-of-designing.ru/>.

The content of the scientific journal is distributed under a license **CC-BY 4.0**

(Creative Commons Attribution 4.0 International License)

Contacts of the co-founders

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

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

В поисках выхода из «пещеры Платона» Looking for a way out of Plato's cave

Как можно «уподобить нашу человеческую природу в отношении **просвещённости и непросвещённости**...: люди как бы находятся в подземном жилище наподобие **пещеры**... и видят только то, что у них прямо перед глазами...».

Платон, «Государство. Книга VII. Символ пещеры»¹

«.. человеческий род не избавится от зла до тех пор, пока истинные и **правильно мыслящие философы** не займут государственные должности...».

Платон, «Седьмое письмо»²

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

В предыдущих обращениях в первом и втором номерах журнала за 2024 год на заданный в первом номере риторический вопрос: «Когнитивный диссонанс: как быть и что делать?»³, во втором номере дан позитивный и лаконичный ответ: «Когнитивный консонанс в онтологиях»⁴. Однако тема далека от исчерпания и вряд ли когда либо будет разрешена в силу сложной и противоречивой природы человека и общества, неотъемлемой частью которого он является. Неразрешимые проблемы взаимозависимости и противоречий личного и общественного, различие языков, культурных и цивилизационных уровней существенно влияют на разработку универсальных и предметных онтологий для компьютерных систем, на формирование и реализацию благостных теорий для общества в целом. Поэтому, создавая искусственные системы для себя и под себя, органично вписывая их в цивилизационную жизнь, необходимо разобраться - какова природа коммуникаций и как они устроены в естественной человеческой среде, сформированной за долгий период её эволюции. Этот разбор включает анализы: формирования и развития языков коммуникаций; рождения и передачи информации; структуры информационных потоков в информационном поле субъектов; оценки достоверности, правдивости, ясности и полноты информации; методов, способов и технологий накопления и формализации знаний; соотнесения личностного и интерсубъективного знаний⁵; и мн. др.

Обращаясь к истокам научной мысли, которая зарождалась тысячелетия тому назад, когда информация и знания не имели возможности распространяться со скоростью света, как это сейчас происходит в сети Интернет, в который раз вызывает восхищение глубина, точность и актуальность знаний, полученных древними мыслителями.

Зарождение и развитие цивилизационных отношений подвигнули мудрецов прошлого к пониманию необходимости **просвещённости** общества, важности выработки, накопления и передачи знаний и культурных ценностей следующим поколениям. Построение модели ми-

¹ Платон. Государство. Книга VII. Символ пещеры. <https://plato.spbu.ru/TEXTS/PLATO/LosevH/0308.htm>.

² Платон. Сочинения в четырех томах. Т. 3 Ч. 2 / Под общ. ред. А.Ф. Лосева и В.Ф. Асмуса; Пер. с древне-греч. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та; «Изд-во Олега Абышко», 2007. 731 с. – с. 565.

³ От редакции. Когнитивный диссонанс: как быть и что делать? *Онтология проектирования*. 2024, Т.14. №1(51). С.5-8. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2024_1\(51\)/Ontology_Of_Designing_2024_1_opt-5-8_Editorial.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2024_1(51)/Ontology_Of_Designing_2024_1_opt-5-8_Editorial.pdf).

⁴ От редакции. Когнитивный консонанс в онтологиях. *Онтология проектирования*. 2024, Т.14. №2(52). С.161-166. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2024_2\(52\)/Ontology_Of_Designing_2024_2_1_Editorial_161-166.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2024_2(52)/Ontology_Of_Designing_2024_2_1_Editorial_161-166.pdf).

⁵ Боргест Н.М. Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личностного опыта // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.415-448.

ра, его целостной картины, его онтологии невозможно без расширения кругозора знаний о мире, без снятия ограничения доступа к информации о нём, без поиска выхода из «пещеры» дозированной информации. И здесь наш журнал стремится внести свой вклад, предлагая площадку для научных дискуссий, способствующих раскрытию затрагиваемых тем.

Во времена Платона технологический уровень цивилизации не мог конкурировать с природой и влиять на неё, поэтому в отличие от современного положения дел перед социумом не стояла задача сохранения его как вида. При этом уже в ту эпоху вопрос о поиске рационального управления обществом, о принципах его организации, о качествах и компетенции правителей обсуждался философами, наряду с практикующими политиками. Понимание важности обладания знаниями и следования гуманитарным принципам в управлении социальными системами разных масштабов – это мечта не только Платона (см. эпиграф), которая до сих пор остаётся не реализованной, особенно в больших системах. Во многом это происходит благодаря неразрешимым противоречиям личного (индивидуального) и общественно-го сознания, которые наиболее наглядно проявляют себя в политике (см., например, цитаты



«Афинская школа» в цифровую эпоху.
Создано Эриком Брауном⁷
в генераторе изображений AI Dall-E 3.
Dall-E 3 AI Image Generator - <https://dalle3.org>



Фрагмент «Афинская школа» (Рафаэль, 1509) / Платон (слева) указывает на Небо, Аристотель на Землю

из комедии Бомарше⁶). Не идеи об идеальной модели устройства общества, а сама жизнь Платона показала, что «идеальное и чистое редко соответствует реальности»⁷. Тем не менее, его обращение и устремление к разуму, осознанной деятельности для будущих поколений имеет непреходящее значение в технологическом мире.

Фигуры и знаки, изображённые на картине Рафаэля,

говорят о единстве идеи (идеального) и материи (материального) в познании и построении картины мира.

«Пещера Платона» – это мир, который доступен людям для познания с помощью органов чувств. Предметы, которые проносятся за спиной сидящих в пещере людей, есть суть вещей, при этом тени этих предметов на стене воспринимаются сидящими как истинное в их мире. Люди в пещере не способны понять и не хотят отрываться от иллюзий собственного чувственного восприятия. Выход из пещеры – это избавления от оков, загораживающих взор на истинные сущности. Невозможно познать истину, отличить её от теней на стене пещеры, если не прилагать для этого усилий. Здесь солнце, которое вне пещеры, представляет форму Блага, придающую смысл всем остальным умопостигаемым формам. По Платону идеальное общественное устройство (город, государство) могут составить только те, кто, глядя на стены пещеры, задаёт вопросы и ищет на них ответы; не довольствуясь тенями, пытается добраться до сути вещей.

⁶ Бомарше, Пьер Огюстен Карон де (1732-1799). Безумный день, или женитьба Фигаро. Комедия в пяти действиях. Перевод Н.М. Любимова. Москва; Ленинград: Искусство, 1952. 200 с.

Ф и г а р о. «Политика, интрига, – называйте, как хотите, они друг дружке сродни... Прикидываться, что не знаешь того, что известно всем, и что тебе известно то, чего никто не знает; прикидываться, что слышишь то, что никому непонятно, и не прислушиваться к тому, что слышно всем; главное, ... делать великую тайну из того, что никакой тайны не составляет; ... разыгрывать персону, плодить наушников и прикармливать изменников, перехватывать письма и стараться важностью цели оправдать убожество средств. Вот вам и вся политика...»

⁷ Erik Brown. What happened when Plato tried to create his “Republic” in real life here’s a hint: he got a lesson from Niccolo Machiavelli. July 9, 2024. https://open.substack.com/pub/historyphilosophyaction/p/what-happened-when-plato-tried-to-r=1nhpl1&utm_campaign=post&utm_medium=web_

В современной интерпретации имеет место слабая аналогия теней в пещере Платона - это цифровая тень, которая рассматривается как инверсия цифрового двойника⁹ или как система связей и зависимостей, описывающих поведение реального объекта лишь в нормальных условиях работы¹⁰, а иногда воспринимаемая как цифровой след, оставленный в Интернете¹¹. Нормализованное определение цифрового двойника изделия¹² - это система, состоящая из цифровой модели изделия и двухсторонних информационных связей с изделием и его составными частями. Цифровая тень - это представление физического объекта или системы в реальном времени, которое отражает его текущие рабочие состояния. Цифровая тень представляет собой моментальный снимок реального объекта или системы¹³.

Что означает и в чём актуальность мифа о пещере Платона?¹⁴

Во-первых, миф демонстрирует *онтологическую градацию бытия*. Тени на пещерных стенах - лишь простая кажимость вещей, статуи - мысленно воспринимаемые объекты, каменный вал - демаркационная линия между родами бытия. Люди вне пещеры - истинное бытие, а солнце - идея Блага.

Во-вторых, *ступени познания*. Находясь в мире теней - это ступень воображения. Видение статуй в пещере даёт ступень верований. В лучах солнечного света познаётся идеальный смысл бытия.

В-третьих, *аскеза, мистика и теология*. Материальным людям дана лишь пещерная жизнь, умопостигаемое поднимает их над грубой материей, а через аскезу они входят в мир мистики. Полное преобразование наступает при созерцании солнца и ведёт к достижению Блага.

Платон рассуждает о возможном возвращении в пещеру бывшего узника. Если политик любит не власть, а людей, то он попытается спасти и вывести узников на свободу. Что ждёт спустившегося вновь из царства света в царство теней? Сначала он снова ослепнет, а узники, не желая рисковать, предпочтут блаженное неведение, начнут гнать пришельца, а может и решат убить его. Однако, Платон утверждает, что Благо реально есть, и любая попытка рассказать о нём стоит того, чтобы рисковать жизнью...

В современных данных клинических исследований отмечается рост расстройств, связанных с деперсонализацией и дереализацией, таких состояний, при которых человек чувствует себя «оторванным» от своего тела, чувств и окружающей среды. Человечество страдает от этого. И причиной этого является созданная им технология¹⁵.

Коллективные усилия, направленные на облегчение жизни на протяжении многих лет, позволили почувствовать себя настолько комфортно, что человек смог особым образом отключиться от реальности. Человек потерял связь с реальным миром и с тем, как на самом деле функционирует мир. Но технология не может воспроизвести *благоговение* (трепет, уважение и любовь). Благоговение может стать противоядием от «искусственной среды», которая приводит к разрыву с реальностью.



Иллюстрация из статьи Хоан Карлос Альсамора. Миф о пещере Платона (Республика VII). Среда, 30 сентября 2009 г.⁸



Иллюстрация, созданная Dall-E 3 по описанию: «Нарисуй выход из «пещеры Платона». Изобрази пещеру Платона, которую он описал в труде «Государство». <https://dalle3.org/record/beb06a47-baac-4d88-8822-8f8ee5f23b76>

⁸ Joan Carles Alzamora. El mite de la caverna de Plató (República VII). dimecres, 30 de setembre del 2009. <https://classedefilosofia.blogspot.com/2009/09/el-mite-de-la-caverna-de-plato.html>.

⁹ Анохов И.В. Цифровая тень как инструмент для исследования отрасли // E-Management. 2022. Т.5. №1. С.80–92.

¹⁰ Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности. 26 октября 2018. <https://news.myseldon.com/ru/news/index/197616357>.

¹¹ Чаусова А.В., Дождиков Р.Н. Цифровая тень и ее защита. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/131142/173-176.pdf>.

¹² ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Дата введения 2022-01-01.

¹³ Jürgen Heimbach. В чем разница между цифровой моделью, цифровой тенью и цифровым двойником? 12 октября 2023 г. <https://www.3dfindit.com/ru/engiclopedia/digitaltwins>.

¹⁴ Антисери Д., Реале Дж. Западная философия от истоков до наших дней. Античность и Средневековье (1-2) / В переводе и под редакцией С.А. Мальцевой. С-Петербург: «Издательство Пневма», 2003. 688 с.

¹⁵ Erik Brown. History's Lesson on risk and awe can fix our mental struggles caused by technology. What we can learn from explorers and wall builders. Jun 13, 2024. History philosophy action. <https://substack.com/home/post/p-145483127>.

Личное представление о предмете формируется на основе уже сложившегося контекста ситуаций, прошлого опыта и интерпретации поступающей внешней информации. Актуальность исследования этих вопросов возрастает в связи с активным внедрением во все сферы жизни информационных систем (ИС), основанных на знаниях. И здесь адекватность знаний, формализуемых тем или иным способом, цивилизационным гуманистическим принципам, их соответствие и гармоничное сочетание с человеческим представлением и восприятием – насущная проблема, над разрешением которой работают специалисты в различных областях.



Мы строим клетку с технологиями, которая изолирует нас от реальности. Создано Эриком Брауном¹⁶ в генераторе изображений AI *Dall-E 3*



Иллюстрация, созданная *Dall-E 3* по описанию: «Человек находится в виртуальной клетке вместе с новыми технологиями. Эти технологии ограждают и изолируют его от реального мира. Вокруг реальный мир, мир природы, реальная жизнь, но человек не видит и не замечает этот реальный мир»

Создавая новые виды искусственных систем, способных выполнять интеллектуальные виды деятельности, нельзя обойти успешный опыт, реализованный природой в биологических и социальных системах. Этот опыт всё больше востребуется в жизненном цикле автономных систем, работающих в агрессивной и неопределённой среде. Поэтому актуальны исследования, посвящённые когнитивному моделированию, где, пожалуй, центральное место занимает созданный природой мозг. И здесь для онтологов наибольший интерес может представлять теория сознания, разрабатываемая российским учёным, академиком РАН К.В. Анохиным¹⁷

«Любой мозг представляет собой дуал – органическую структуру, имеющую как физиологический (коннектом), так и психологический (когнитом) уровни организации. Разум – это многослойная макроструктура мозга: сеть нейронных сетей. Мышление и сознание – особые виды процессов в этой макроструктуре. Гиперсети – адекватный математический формализм для описания организации высших функций мозга и представляющий собой естественное расширение графов, гиперграфов и сетей»¹⁸.

Важнейшее свойство сознания – субъективность: сознательные состояния существуют только тогда, когда их переживает конкретный субъект (человек или животное). Когнитом рассматривается как высокопорядковая структура головного мозга – нейронная гиперсеть, а сознание является особой формой процессов в этой гиперсети – широкомасштабной интеграцией её когнитивных элементов. Объяснить сознание можно лишь имея теорию мозга как нейронной гиперсети.

Начальная фаза построения теории опирается на контекстные вопросы, сформулированные в своё время в общем виде Аристотелем¹⁹. В основу построения теории когнитивного К.В. Анохина положен онтологический подход¹⁷.

Начальная параметризация сознания. Сознание состоит из внутренних качественных, субъективных состояний и процессов восприятия или осознания. Сознание неразрывно сплетено с языком и отражает общественное сознание, наши соотношения с культурой. Свойства субъективного опыта вызревали на протяжении геологических эпох и его базовые формы присутствуют у многих видов животных. Фундаментальная теория сознания должна начинаться с объяснения именно этих основополагающих свойств сознания. Сознание – это процесс (выражение «поток сознания»), возникающий вследствие взаимодействия мозга, тела и среды. В состав

¹⁶ Erik Brown. History's Lesson on risk and awe can fix our mental struggles caused by technology. What we can learn from explorers and wall builders. Jun 13, 2024. History philosophy action. <https://substack.com/home/post/p-145483127>.

¹⁷ Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания. *Журнал высшей нервной деятельности*, 2021. Т.71, №1, с.39–71. DOI: 10.31857/S0044467721010032.

¹⁸ Анохин К.В. Когнитом: разум как физическая и математическая структура. Семинар «Социофизика». 27 сентября, 2016. <http://www.soc-physics.chem.msu.ru/rus/prev/zas-2016-09-27/presentation.pdf>.

¹⁹ Аристотель. Поэтика. Риторика. О душе / Пер. с древнегреч. В. Аппельрота, Н. Платоновой и П. Попова; Вступ. ст. и коммент. С. Трохачева. – М.: Мир книги, Литература, 2007. 400 с.

предмета фундаментальной теории сознания должны входить также такие виды субъективных процессов и состояний, как: чувства, ощущения, эмоции, мотивации. Этот набор явлений часто объединяют под терминами «опыт», «субъективный опыт» или «субъективная реальность».

«Что»: *качественные свойства сознания*. Отличительные свойства сознания: реальность, субъективность, дифференцированность, целостность, качественность, интенциональность, разнообразность, определённости, ситуативность, временная структура. Все эти свойства могут быть представлены как специфические варианты базовых биологических категорий.

«Где» и «когда»: *динамические аспекты сознания*. В ходе начальной параметризации сознания выделено два его базовых свойства. Во-первых, это качественные характеристики феноменальных состояний – «что». Во-вторых, это специфические операции над этими состояниями, обеспечивающие доступ субъекта к их содержанию. Сами эти процессы недоступны осознанию, но составляют неперенные компоненты любого явления сознания. Их можно было бы обозначить общим термином «как», который следует разделить на «как» в смысле «где» и «как» в смысле «когда».

«Кто»: *скрытый ингредиент в определениях сознания*. «Кто» служит носителем «что» – источником всех квалиа; определяет «когда» – выступает генератором их надпороговой активации; является системой, «где» происходит их осознание – служит реципиентом этих качественных состояний.

«Кто», «что», «где» и «когда» *эпизода сознания*. Описание любого эпизода сознания требует категорий «кто», «что», «где» и «когда». Разворачивающийся при этом процесс можно изобразить в виде схемы¹⁷.

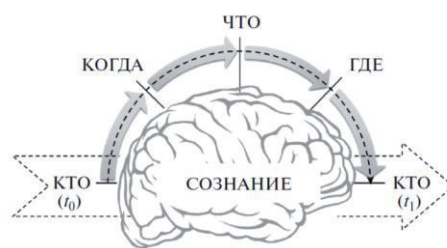
Подобный способ формирования и формулирования вопросов используют онтологи²⁰, создавая модели предметных областей (ПрО). Например, рассматривая графы знаний (ГЗ), описывающих ПрО, онтологи к традиционным пяти контекстным вопросам W («Что», «Почему», «Кто», «Где», «Когда») добавили «Как», «Откуда» и «Куда». Коммюнике построено на основе этих вопросов. «Что» - определение ГЗ; «Почему» ГЗ стали популярными; «Откуда» возникли ГЗ; «Куда» - перспективы ГЗ. «Как», «Кто», «Где» и «Когда» - примеры, методы и инструменты, используемые во многих сферах применения ГЗ.

Наставления Платона – задавать вопросы и искать на них ответы - в своё время подхватил Аристотель. Если в тексте Аристотеля²¹ «О душе» заменить название исследуемой им нематериальной сущности («душа»²¹) на такие абстрактные сущности как ПРЕДМЕТ или ПОНЯТИЕ, то может получиться исчерпывающий набор вопросов, ответы на которые позволят составить представление о новой исследуемой сущности²². И в первую очередь здесь ставится вопрос о категоризации, т.е. о том, что составляет основу онтологического анализа ПрО.

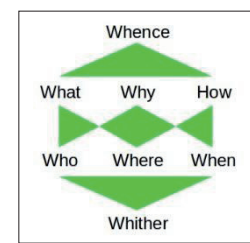
«Вопросник Аристотеля»¹⁹ помогает структурно выстроить онтологический анализ исследуемых сущностей, способствует формированию единой классификационной декомпозиции, особенно востребованной в сложных ПрО. Аналогичный подход к анализам сущностей допустим и к понятийным областям, которые есть суть отражения ПрО.

Разрабатываемые онтологии для ИС по определению не могут быть объективными, т.к. это предмет договорённостей субъектов в конкретной ПрО.

Аналогичная картина и в используемых для искусственного интеллекта наборах данных (датасетах), которые «формируют знания» и, в конечном итоге, выводы из них в искусствен-



Основные ингредиенты универсального эпизода сознания¹⁷ в форме вопросов



Контекстные вопросы²⁰

²⁰ Баклавски К. Онтологический Саммит 2020. Коммюнике: Графы знаний / К. Баклавски, М. Беннет, Г. Берг-Кросс, Т. Шнайдер, Р. Шарма, Д. Сингер. Перевод с англ. Д. Боргест // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.540-555. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-540-555.

²¹ Душа, сознание, разум, совесть... до сих пор многими рассматриваются как синонимы.

²² Боргест Н.М. Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения // *Онтология проектирования*. №3(9). 2013. С.9-31.

ных ИС. Синтаксический анализ, заложенный в больших языковых моделях, не в состоянии отличить ложную, непроверенную, ошибочную информацию от достоверной и правдивой, опираясь лишь на частотность очередного слова.

Сравнивая искусственные и естественные системы, невольно вспоминаются часто цитируемые слова А. Эйнштейна, в которых человеческая интуиция оценивается как священный дар, а разум или рациональное мышление - как преданный или покорный слуга. Интуиция - бессознательный процесс подготовки решений на базе своего и чужого опыта и того, что пока скрыто от исследователей. Многие функции в организме выполняются без их осознания и контроля. У человека остались только те осознаваемые им функции, которые связаны с его взаимодействием со средой и необходимы ему для коммуникации, его безопасности, обеспечения ресурсами и др. Аналогичная картина наблюдается и с передачей освоенных функций и процедур искусственным системам.

Научные сообщества активно ищут способы выхода из «пещеры Платона», опираясь на новые теории сознания, информации и технологии. Человечество в целом заинтересовано в позитивном исходе этого поиска, т.к. достигнутый технологический уровень далеко опередил разумное его поведение.



Свой выход из пещеры Платона ищут наши коллеги в университетах и научных организациях России. 10-ю юбилейную международную научную конференцию «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений - ITIDS'2024» планируют провести в Уфимском университете науки и технологии 12-14 ноября 2024 года (<http://itids.ugatu.su>). Конференция посвящается памяти проф. Н.И. Юсуповой, организатора всех предыдущих ITIDS.

В Казани отмечает юбилей Институт прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан. Совместная деятельность научно-исследовательской лаборатории «Проблемы искусственного интеллекта» Академии наук Республики Татарстан и Казанского государственного университета в рамках реализации «Государственной программы по сохранению, изучению и развитию языков народов Республики Татарстан» (1994-2001 гг) послужили в дальнейшем основой для образования в 2009 году этого учреждения (<https://www.antat.ru/ru/ips/about/history/>).

Журнал искренне поздравляет коллег по цеху и также стремится внести свою лепту в обсуждение обозначенных проблем, в разработку подходов и методов, которые способны быть полезными в построении истинных, правдивых, достоверных онтологий в различных Про для новых искусственных систем, адаптирующихся под человека и его задачи.

В номере

В разделе «Общие вопросы формализации проектирования: онтологические аспекты и когнитивное моделирование» рассмотрены: семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах (**Самара**); категориальный анализ логики в концептуальном моделировании Про (**Уфа-Москва**); когнитивные проблемы освоения графических дисциплин при подготовке инженеров (**Тула**).

В разделе «Прикладные онтологии проектирования» представлены: ИС на основе фармацевтической онтологии (**Ульяновск**); подход к разработке онтологии кластера (**Йошкар-Ола**); модель лингвистических графов знаний тюркских языков (**Казань**); онтология нового термина (**Москва**).

В разделе «Инжиниринг онтологий» рассмотрены: кластеризация с использованием методов удовлетворения табличных ограничений (**Апатиты**); автоматическое оценивание эксплойтов на основе методов глубокого обучения (**Санкт-Петербург**).

В разделе «Методы и технологии принятия решений» представлены: онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений (**Санкт-Петербург**) и система выбора и ранжирования альтернатив СВБРЬ-М: теоретические основы и практика применения (**Санкт-Петербург**).

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

各國各學科領域的本體論者與設計師，加入我們吧！

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.5

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-311-323



Семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах медицинских приложений

© 2024, А.В. Иващенко^{1,2}✉, М.В. Александрова², Д.С. Жейков², А.Ю. Нестеров¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

² Самарский государственный медицинский университет (СамГМУ), Самара, Россия

Аннотация

Рассматривается проблема достижения полноты и единства объективной, субъективной и виртуальной реальности применительно к прикладным задачам проектирования интерактивных пользовательских интерфейсов. В рамках построения иммерсивной среды с помощью современных информационных технологий исследована задача формирования онтологии восприятия. Выделена ключевая роль знака в информационном взаимодействии с учётом индивидуальных особенностей его восприятия пользователями виртуальной реальности. В иммерсивной среде виртуальные знаки могут воплощаться как в качестве наблюдаемых объектов с различной степенью реалистичности, так и непосредственно в форме графических и текстовых знаков, получивших определённое расположение в пространстве. Предложенный подход позволяет задать алгоритм визуального воздействия на человека путём динамического формирования последовательности знаков. Формируемые последовательности образуют очередь визуальных стимулов, корректирующих темп-ритм интерактивного взаимодействия пользователя с компьютерной системой. Наблюдаемые пользователем знаки можно классифицировать как иконические знаки, соответствующие условным обозначениям или пиктограммам, знаки-индексы, выступающие в качестве указателей на другие объекты и позволяющие размечать пространство в целях ориентации, и знаки-символы, сигнализирующие или предупреждающие об изменении объекта, произошедшем событии или явлении. В статье рассмотрены тестовые примеры поведения пользователя в среде виртуальной реальности. Предложенный подход реализован в программном комплексе психологической диагностики и реабилитации. Особенностью комплекса является контроль вовлечённости пациентов на основе анализа динамики движений головы, мимических движений и траектории взгляда с использованием искусственных нейронных сетей. В случае идентификации событий отвлечения внимания или потери интереса компьютерная система производит адаптацию пользовательского интерфейса путём добавления визуальных стимулов в соответствии с заданными прагматическими правилами. Применение полученных результатов позволило обеспечить адаптацию пользовательского интерфейса и создать возможность для персонализированного подхода к оказанию медицинских услуг.

Ключевые слова: иммерсивная среда, виртуальная реальность, управление вниманием, знак, психологическая диагностика, реабилитация.

Цитирование: Иващенко А.В., Александрова М.В., Жейков Д.С., Нестеров А.Ю. Семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах медицинских приложений // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.311-323. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-311-323.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные пользовательские интерфейсы (ПИ) предоставляют широкие возможности по реализации интерактивного человеко-компьютерного взаимодействия. В частности, расширенные устройства виртуальной (VR) и дополненной (DR) реальности позволяют сформировать иммерсивную среду (ИмС) – виртуальное пространство глубокого погружения, в котором пользователь наблюдает и взаимодействует с реальными и виртуальными объектами одновременно. Многие виртуальные объекты при этом выглядят настолько реалистично, что начинают восприниматься вполне реальными и производят достаточно сильное воздействие на пользователя.

ИмС проектируется разработчиками сферы информационных технологий, исходя из требований назначения: необходимо обеспечить надёжное информационное воздействие на пользователя с учётом индивидуальных особенностей восприятия комбинации виртуальных и реальных элементов наблюдаемой среды. Учитывая характер преимущественно информационного взаимодействия, ИмС должна содержать понятия, близкие, понятные и интересные пользователю. Картина мира пользователя должна соответствовать тематике объединения виртуальных и реальных объектов в ИмС, в противном случае не удастся обеспечить требуемый интерес к этой среде и соответствующую глубину погружения.

Таким образом, задача проектирования ИмС имеет онтологический характер: при разработке соответствующих аппаратно-программных комплексов VR необходимо обеспечить согласование картины мира пользователя и окружающей среды. Основным предметом онтологии является бытие, которое определяется как полнота и единство всех видов реальности, в т.ч. объективной, субъективной и виртуальной. VR и объективная реальность не только не должны противоречить субъективной реальности пользователя, но и находиться в динамическом информационном взаимодействии между собой. Обеспечение этого взаимодействия важно, например, в медицинских приложениях, когда особенности восприятия пользователя могут повлиять на результативность лечебных или реабилитационных мероприятий.

Данное исследование находится на стыке медицинских и философских наук и информационных технологий и относится к междисциплинарным. При этом в части изучения особенностей восприятия различных объектов рассматриваемая проблема должна получить достаточное внимание, в частности семиотики, как теории знаков и знаковых систем.

Особая роль отводится знаку как средству передачи информации о происходящих событиях. Знаки, объективно сопутствующие объектам реального мира, сочетаются с искусственно формируемыми знаками VR и совместно вступают в информационное взаимодействие с системой восприятия пользователя. Это позволяет отнести рассматриваемую прикладную задачу к области семиотики. Корректное использование знаковых систем эффективно и актуально в психологической диагностике и реабилитации, где от формируемой ИмС требуется достижение гарантированного результата при воздействии на пациента. В данной статье предложено возможное решение этой проблемы, основанное на управлении глубиной погружения пользователей ИмС.

1 Знак в ИмС

Формирование ИмС [1] специфично для компьютерных игр и индустрии развлечений, однако в последнее время её создание демонстрирует высокую эффективность в аппаратно-программных комплексах (АПК) медицинской диагностики и реабилитации. Применение технологий VR и DR [2] в этой области позволяет осуществить такое воздействие на восприятие человека [3], которое в сочетании с определённой физкультурной нагрузкой, способно

позитивно влиять на восстановление двигательной активности пациентов с различными нарушениями (например, полученными в результате нейродегенеративных заболеваний).

Формирование ИмС в медицине имеет ряд ограничений и трудностей по сравнению с индустрией развлечений. Это связано с необходимостью достижения конкретного результата диагностики и реабилитации. У пользователя соответствующего АПК должно быть сформировано корректное восприятие виртуальных элементов ИмС. Такого результата не всегда удаётся добиться в связи с возрастающей информационной нагрузкой и индивидуальными особенностями восприятия разных объектов отдельными пациентами.

ИмС формируется для пользователя с помощью интерактивного компьютерного интерфейса или устройства ДР. Пользователь наблюдает реальные объекты, которые частично или полностью находятся в области его зрения, а также виртуальные объекты, сгенерированные АПК. В рамках визуального восприятия эти объекты не отличаются друг от друга, однако на основе собственного опыта, или будучи специально обученным для использования АПК, пользователь может ограниченно распознавать реалистичность наблюдаемого.

Для пользователя знак получает новую важную характеристику, свойственную, например, знакам правил дорожного движения. А именно, для знака важным становится его расположение и ориентация в пространстве, он встраивается в систему взаимного расположения других знаков и может изменять или отменять их значение [4].

В этом случае непосредственно реализуются семантическая классификация знаков [5] и особенности пространственного восприятия зрительных знаков [6]. В ИмС важно определить роли знаков во взаимодействии и особенности их восприятия в зависимости от заинтересованности субъекта. Данные понятия приобретают особый интерес, поскольку позволяют задать алгоритм визуального воздействия на человека путём динамического формирования последовательности знаков АПК. Алгоритмический подход с учётом влияния человеческого фактора важен для эффективного человеко-компьютерного взаимодействия. В ИмС виртуальные знаки могут воплощаться как в качестве наблюдаемых объектов с различной степенью реалистичности, так и непосредственно в форме знаков, графических и текстовых, получивших определённое расположение в пространстве.

Отображаемые знаки имеют разную степень реалистичности. Далее рассматриваются знаки, однозначно интерпретируемые пользователем как виртуальные и семантически интерпретируемые. В медицинских приложениях необходимо обеспечить интерпретируемость с достаточной надёжностью, в связи с чем возникает необходимость учёта прагматического измерения семиозиса [7]. Частично можно решить эту проблему путём формирования и корректировки контекста с учётом особенностей человеческого восприятия. Проблемы интерпретации знаков в ИмС известны в области культуры и искусства, например, при рассмотрении диалектики знака и фона [8]. С позиций теории управления задача формирования адекватного ответа на визуальные стимулы усложняется в связи с неопределённостью и субъективностью внимания пользователя. В этом случае рассматривается задача построения онтологии восприятия, заданной относительно наблюдаемых форм и атрибутов [9], с последующим уточнением относительно объектов действительности и ВР.

2 Управление вниманием пользователя в ИмС

Для управления вниманием пользователя в ИмС необходимо исследовать особенности семиозиса в ИмС [10]. Формирование визуальных стимулов в виде специализированных знаков в составе соответствующей системы управления может быть задано в виде прагматических правил и автоматизировано в базе знаний АПК, формирующей ИмС. Например, в приложениях медицинской диагностики и реабилитации [11, 12] для достижения эффекта пер-

социализированной медицины необходимо сформировать типовую интерпретанту в соответствии с особенностями пользователей и создать визуальный контекст представления воздействующих символов в соответствии с индивидуальными особенностями восприятия.

Для решения этой задачи разработана концепция системы управления вниманием пользователя в ИмС [13, 14], представленная на рисунке 1. Суть метода заключается в управлении вниманием и вовлечённостью пользователей на основе комбинирования фокуса, контекста и оверлейного контекста (ОК) в рамках одной виртуальной сцены. Данные понятия введены и описаны в [15]. Фокус указывает на объект, который обрабатывается пользователем в данный момент времени или привлекает его внимание. Контекст описывает текущую ситуацию и учитывает историю предыдущих действий и событий, которые привели к ней. Оверлейный контекст включает в себя виртуальные объекты (текстовые заметки, метки или выделения), которые привлекают внимание пользователя к необходимым объектам сцены.

Это позволяет эффективно генерировать иммерсивные стимулы в виде отметок, напоминаний и других активных элементов ПИ ДР.

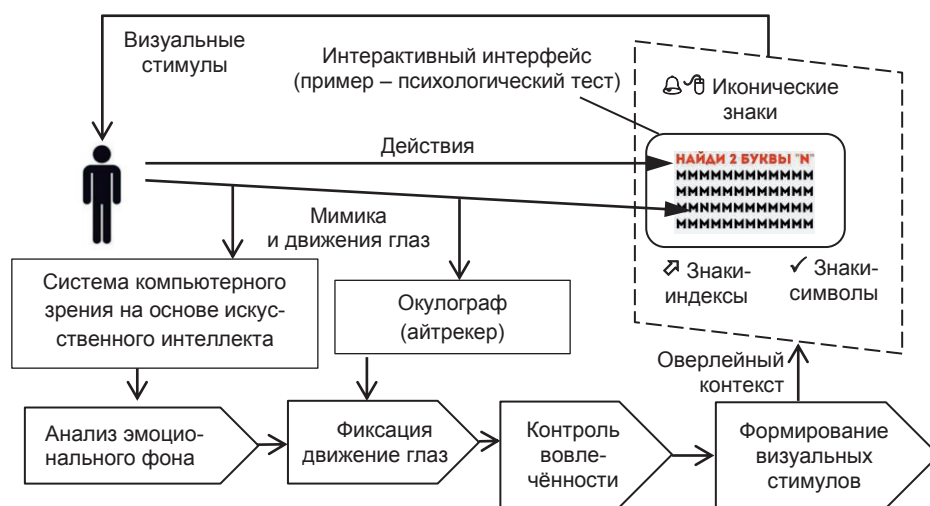


Рисунок 1 - Схема системы управления вниманием пользователя в иммерсивной среде

Оценка вовлечённости может быть произведена с использованием нейросетевых технологий искусственного интеллекта для идентификации эмоций пользователя по данным компьютерного зрения. Для этого в состав АПК включается видеочка, которая производит видеосъёмку лица человека. Независимую оценку вовлечённости пользователя можно также получить по данным окулографии (айтрекинга), для чего используются специальные устройства отслеживания взгляда человека, синхронизированные с событиями ПИ.

Предлагается построить ИмС с управляемой глубиной погружения, а в качестве контролируемого параметра использовать вовлечённость пользователя, оценка которой производится на основе анализа мимических движений, эмоционального фона и траектории движения взгляда. Для повышения или снижения вовлечённости предлагается использовать визуальные стимулы в виде отметок, напоминаний и уведомлений. Относительно основного ПИ такие стимулы должны восприниматься как дополнительная, «наложенная» информация, в связи с чем для их формирования и отображения вводится виртуальное пространство ОК.

ОК представляет собой дополнительный слой элементов ПИ, накладываемый «поверх» основного слоя и содержащий дополнительные информационные поля и элементы управления. ОК содержит искусственно созданные элементы ВР и служит для повышения иммерсивности виртуальной среды. В связи с тем, что он используется в целях информационного человеко-компьютерного взаимодействия, пользователь должен осознавать виртуальность

ОК, в нём нет необходимости симулировать высоко реалистичные объекты. Поскольку ОК в силу своего назначения перекрывает визуальную сцену, необходимо добиваться высокой простоты и условности применяемых в нём знаков.

3 Применение знаков в роли стимулов

Применение ОК в системе управления вовлечённостью пользователя состоит в формировании последовательности визуальных стимулов, корректирующих темпо-ритм интерактивного взаимодействия пользователя с АПК. В качестве визуальных стимулов можно предложить знаки различного генезиса с применением семантической классификации знаков [5]. Наблюдаемые пользователем знаки можно классифицировать как иконические знаки, соответствующие условным обозначениям или пиктограммам, знаки-индексы, выступающие в качестве указателей на другие объекты и позволяющие размечать пространство в целях ориентации, и знаки-символы, сигнализирующие или предупреждающие об изменении объекта, произошедшем событии или явлении. В таблице 1 приведены способы применения знаков в зависимости от их типов для управления вниманием пользователя. Например, знаки-индексы рекомендуется применять для привлечения внимания к виртуальным и реальным объектам.

Таблица 1 - Применение знаков в интерактивных пользовательских интерфейсах

Тип знака	Значение для управления вовлечённостью	Способ управления	Применение в качестве стимула
Иконический знак	Условное (упрощённое или стилизованное) обозначение, подобное объекту, пиктограмма	Замена библиотек знаков для повышения или снижения схематичности (подробности)	Снижение визуальной нагрузки, повышение привлекательности (при использовании оригинальных или анимированных знаков)
Знак-индекс	Указатель	Появление, изменение яркости или цвета текста или фона	Привлечение внимания к существующему виртуальному или реальному объекту
Знак-символ	Идентификатор объекта или явления	Появление в виде текстовой или графической подсказки	Информирование об объекте или событии, уведомление, предупреждение, сигнал

Эффективность использования знаков зависит от текущей ситуации. Например, в случае снижения вовлечённости, характеризуемого задержками деятельности и отвлечением на посторонние предметы и события, добавление знаков-индексов и повышение достоверности иконических знаков способны привлечь внимание и сохранить интерес пользователя. Механизмы формирования визуальных символов в разных ситуациях изменения вовлечённости пользователей представлены в таблице 2.

4 Примеры управления глубиной погружения

Рассматриваются примеры поведения пользователя в ИмС в момент достижения максимальной глубины погружения в рамках разной онтологии восприятия. Достижение необходимой и достаточной глубины погружения пользователя определяет высокую степень концентрации пользователя на объектах на определённом промежутке времени.

Каждый пример проиллюстрирован графом, описывающим привлечение интереса определённого пользователя к объектам b_n , для которых определена тематика $\Omega_m(b_n)$. Пусть интерес пользователя как вероятность обращения его взгляда $g_{i,j,k}$, где i – условный индекс пользователя, j – координата точки в пространстве вблизи объекта b_n , k – порядковый номер события привлечения взгляда пользователя. Взгляд пользователя может точно определяться с использованием современных средств окулографии. Пусть вероятность привлечения взгляда

пользователя к наблюдаемому объекту соответствует отношению его к тематике интереса пользователя и может принимать значение от 0 до 1.

Таблица 2 - Семиозис визуальных стимулов для контроля вовлечённости пользователей в интерактивных программных комплексах

Характеристика динамики вовлечённости	Способ определения	Тип визуального стимула	Приоритетность знаков
Стабильно высокая	Концентрация взгляда на соответствующих объектах, своевременная реакция на изменения, спокойный эмоциональный фон	Снижение визуальной нагрузки, добавление подробностей в описание	Добавление и замена иконических знаков
Стабильно низкая	Постоянные отвлечения фокуса, потеря внимания, низкий эмоциональный фон	Привлечение внимания, поиск возможности заинтересовать	Добавление и замена индексов и иконических знаков
Повышение вовлечённости	Ускорение движений взгляда, повышенное внимание к появляющимся объектам, возбуждённый эмоциональный фон	Контроль ошибочных действий, привлечение внимание к актуальным событиям, снижение визуальной нагрузки	Добавление и замена символов, упрощение иконических знаков
Снижение вовлечённости	Всплески потери внимания, отвлечение на второстепенные объекты, задержки деятельности	Поиск нового интереса и адаптация интерфейса и визуального контента	Добавление индексов, повышение достоверности иконических знаков
Краткосрочная потеря внимания (отвлечение, сбой)	Внезапная потеря внимания, единичный длительный взгляд в сторону, задержка деятельности	Привлечение внимания, устранение отвлекающего фактора	Добавление знаков-индексов и знаков-символов

Пример 1. Пусть имеется пользователь, в поле зрения которого находятся объекты b_1, b_2, b_3 , релевантные его текущему интересу (см. рисунок 2). Объекты b_1 и b_2 относятся к тематике $\Omega_1(b_{1,2})$, которая соответствует целевой тематике интереса пользователя на величину 0,8. Объект b_3 относится к тематике $\Omega_2(b_3)$, соотносящейся с целевой тематикой на 0,2. Пусть взгляд пользователя $g_{1,1,1}$ в момент времени $t_{1,1,1}$ обращён на объект b_1 . При этом наблюдается изменение состояния объектов b_2 и b_3 , обозначенное как $d_{2,2,1}$ и $d_{3,3,2}$ соответственно, тогда вероятность перевода взгляда пользователя на объект $b_2=0,8$, а на объект $b_3=0,2$ с учётом соотношения данных объектов с целевым интересом пользователя.

Процесс перевода взгляда пользователя на новый объект определяется вероятностью перехода пользователя из одного состояния в другое в определённый промежуток времени $p(g_{1,2,2})=f(\Omega_1, \Omega_2)$.

Данный процесс соответствует случайному марковскому процессу с дискретным временем и пространством состояний. В этом примере внимание пользователя обращено на объект, который с высокой степенью соответствует текущему интересу пользователя. В таком случае для управления вниманием пользователя в ИМС необходимо поместить объекты, ре-

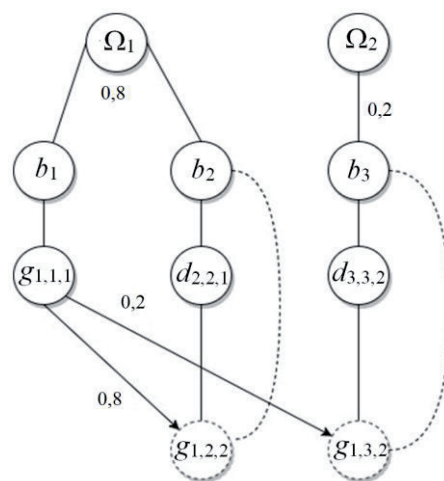


Рисунок 2 - Пример переключения на новый объект в иммерсивной среде

levantные его текущему интересу. Вероятность смещения внимания пользователя на другие объекты, не относящиеся к текущему интересу пользователя, будет низкой.

Нарушение целостности контекста может привести к недоверию пользователя событиям виртуальной среды, а также потере управления вниманием пользователя, а в результате к потере необходимого уровня глубины погружения. Глубина погружения пользователя может быть оценена путём соотнесения темпо-ритмов происходящих событий, которые отражаются в пользовательском интерфейсе, и траекторий движения взгляда пользователя в течение заданного интервала времени. Если пользователь своевременно обращает внимание на происходящие события и изменения, фиксируется большая глубина погружения. В противном случае за каждое опоздание или пропуск глубина погружения снижается соответственно.

Пример 2 (см. рисунок 3). Пусть в поле зрения пользователя находятся также объекты b_1 , b_2 , b_3 , при этом объекты b_1 и b_3 относятся к тематике $\Omega_1(b_{1,3})$, которая соответствует целевой тематике интереса пользователя на 0,3. Объект b_2 относится к тематике $\Omega_2(b_2)$, соотносящейся с целевой тематикой на 0,7. В момент времени $t_{1,1,1}$ взгляд пользователя $g_{1,1,1}$ был обращён на объект b_1 . Объект b_2 совершает некоторый набор действий $d_{2,2,1}$. Тогда вероятность перемещения взгляда пользователя с объекта b_1 на объект b_2 будет равна 0,7. В момент времени $t_{1,2,2}$ у пользователя возникает выбор: перевести взгляд на объект b_3 , перевести взгляд обратно на объект b_1 или сохранить концентрацию на объекте b_2 . При этом, учитывая вес тематик, к которым относятся объекты, вероятность осуществления перечисленных действий распределяется следующим образом: вероятность перевода взгляда на объект b_3 и объект b_1 равна 0,15, вероятность сохранения внимания на объекте b_2 в последующие промежутки времени $t_{1,2,3}$ равна 0,7.

В данном примере изначально внимание пользователя обращено на объект, который относится к тематике с низким уровнем соответствия целевому интересу пользователя. Данный пример иллюстрирует низкий уровень погружения в ИмС. Если в ИмС пользователю разместить объекты, наиболее соответствующие его целевому интересу (например, объект b_2), то степень погружения пользователя возрастет. В результате действия пользователя будут стремиться к целевому поведению в данный момент времени.

Пример 3, в котором каждый объект ВР равнозначно соотносится с целевой тематикой (см. рисунок 4). Пусть в момент времени $t_{1,1,1}$ взгляд пользователя $g_{1,1,1}$ зафиксирован на объекте b_1 .

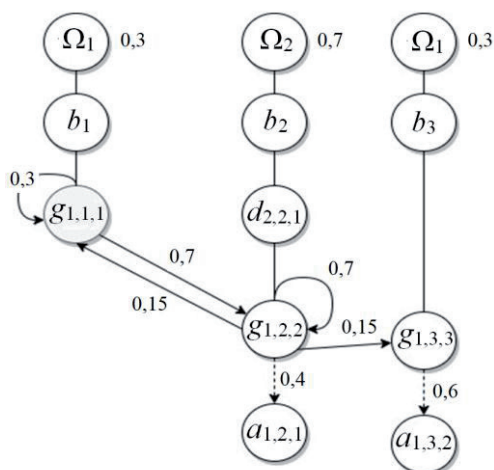


Рисунок 3 - Повышение вовлечённости

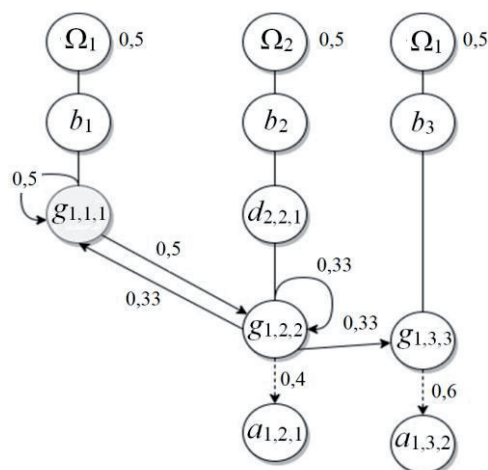


Рисунок 4 - Сохранение вовлечённости

В поле зрения пользователя находятся также объекты b_2 и b_3 , при этом объект b_2 совершает некоторые действия $a_{1,2,1}$ $a_{1,3,2}$. Тогда вероятность перевода взгляда с объекта b_1 на b_2

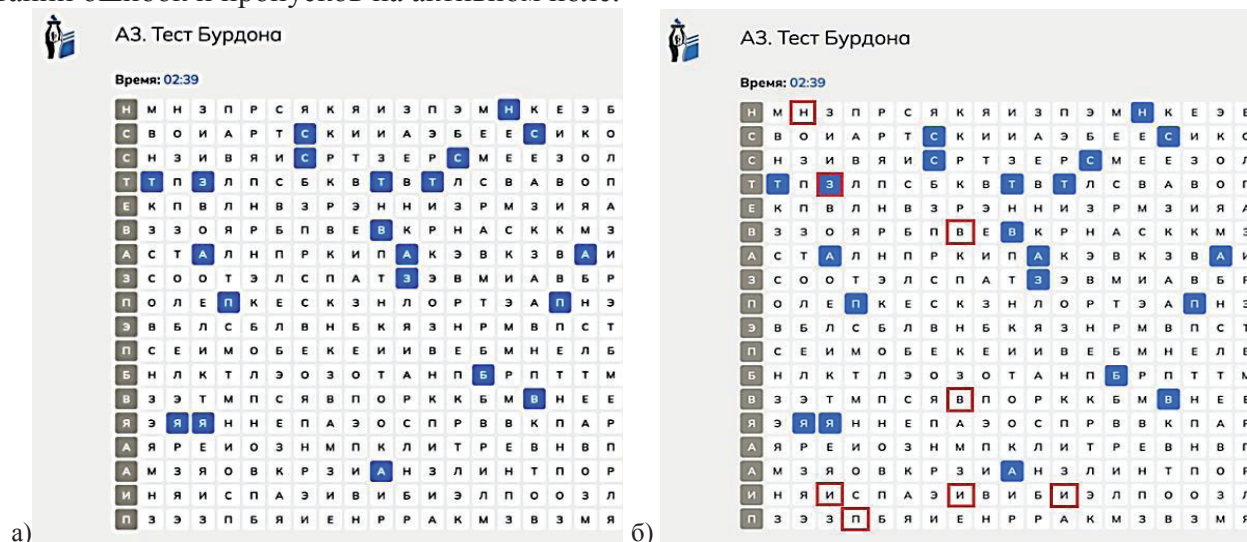
равна 0,5. С вероятностью 0,5 пользователь сохранит внимание на объекте b_1 . При перемещении взгляда на объект b_2 возникает равнозначная вероятность как перемещения взгляда на новый объект b_3 или возвращения на объект b_1 , так и концентрации внимания на b_2 .

Пользователь уделяет равное внимание наблюдаемым объектам, что иллюстрирует высокую степень погружения пользователя в ИмС. При этом возникает возможность управлять вниманием пользователя как внутри текущего интереса Ω_1 , размещая в виртуальном пространстве новые объекты, так и между интересами, добавляя в ИмС новые объекты, например, объект b_2 , относящийся к тематике Ω_2 , которая в равной степени соотносится с тематикой Ω_1 .

5 Реализация в сфере психологической диагностики и реабилитации

Предложенный подход реализован в АПК психологической диагностики и реабилитации [14], в котором использованы некоторые психодиагностические методики [16]. В данном исследовании применены корректурная проба Бурдона [17, 18], используемая для выявления утомляемости, оценки концентрации и устойчивости внимания, и таблицы Шульте [19, 20], которые используются для исследования свойств внимания и расширения периферического зрения. Особенностью АПК является контроль вовлечённости пациентов на основе анализа динамики движений головы, мимических движений и траектории взгляда с использованием технологий машинного зрения [14]. В случае идентификации событий отвлечения внимания или потери интереса производится адаптация ПИ путём добавления визуальных стимулов в соответствии с таблицей 2.

На рисунке 5 приведён пример реализации знаков-индексов для привлечения внимания пользователя. Корректурная проба Бурдона проводится с помощью набора большого количества похожих знаков, например, букв. Пользователю необходимо в каждой строке найти и выделить заданные символы. АПК каждую минуту отмечает зону текущего внимания пользователя и сообщает ему об этом. Цветовая индикация позволяет использовать знаки – указатели на ответы пользователя (рисунок 5а). Другой вариант (рисунок 5б) состоит в подсвечивании ошибок и пропусков на активном поле.



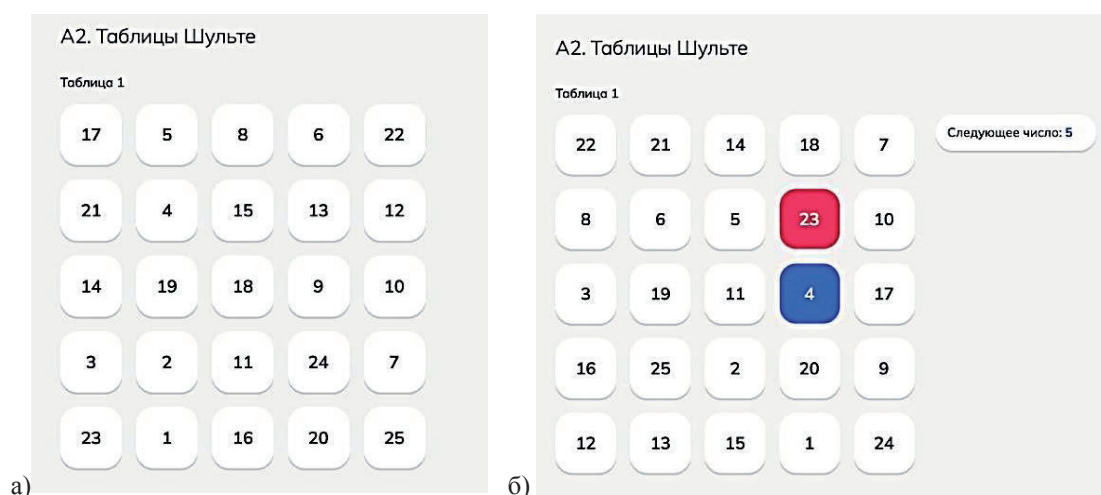
а) – знаками-указателями обозначаются выбор буквы; б) – дополнительные знаки (□) указывают на неправильный выбор или пропуск буквы

Рисунок 5 - Примеры разных знаков-индексов для привлечения внимания пользователя при прохождении психологического теста

Построение интерактивного ПИ позволяет использовать знаки адаптивно к текущему поведению пользователя. С помощью системы компьютерного зрения и окулографии АПК может фиксировать снижение двигательной активности глаз и изменение мимики, что свидетельствует о снижении вовлечённости пользователя. В этом случае могут дополнительно подсвечиваться ошибки или пропущенные буквы, которые необходимо найти в оставшихся рядах. Цветовая индикация может быть активна до момента возвращения взгляда пользователя на зону тестирования или ограничена по времени.

На рисунке 6 приведён пример использования знаков в таблицах Шульте. Таблица содержит 25 ячеек, расположенных в 5 рядов, в которых беспорядочно вписаны числа от 1 до 25. Необходимо зафиксировать взгляд в центре таблицы и отметить все ячейки с цифрами по порядку без пропусков за минимальное время. Современные средства окулографии позволяют отследить корректность прохождения теста, а применение знаков разного типа – облегчить прохождение теста при необходимости.

Например, знак типа индекс (выделение цветом) и символ (указание следующего значения) обеспечат сохранение вовлечённости пользователя при краткосрочной потере внимания, вызванной внешним раздражителем. Чтобы устранить фактор отвлечения, предлагается при существенной задержке подсвечивать выбранный вариант синим цветом, ошибочный вариант – красным, а также формировать подсказку о следующем номере ячейки.



а) – классическое представление таблицы Шульте; б) – использование подсказок: выбранный вариант подсвечивается синим цветом (4), а ошибочный – красным (23)

Рисунок 6 - Пример использования знаков типа индекс (выделение цветом) и символ (указание следующего значения) для облегчения прохождения психологического теста с помощью таблицы Шульте

Таким образом, удалось внедрить в систему психодиагностики обратную связь: если пользователь отвлекается от активной зоны теста, то необходимо корректировать внимание за счёт визуальных стимулов. Генерация аудиовизуальных стимулов, дополнительно информирующих пользователя о происходящих событиях и подсказывающих ему необходимые действия, позволяет адаптировать пользовательский интерфейс с учётом индивидуальных особенностей восприятия. Применение такого подхода в медицинских приложениях позволяет реализовать концепцию персонализированной медицины.

Заключение

Исследование особенностей восприятия и воздействия знаков становится актуальной научно-технической задачей в условиях развития интерактивных ПИ. Активное применение

устройств ВР приводит к усложнению ПИ и соответствующему росту информационной нагрузки на пользователя. Применение знаков в качестве визуальных стимулов позволяет повысить эффективность управления вниманием пользователя и усилить глубину погружения в ИмС.

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты применения знаков в интерактивных ПИ для контроля вовлечённости пользователей. Типизация знаков позволяет адекватно формировать визуальные стимулы с учётом особенностей восприятия пользователей и корректировать темпо-ритм интерактивного взаимодействия пользователя с АПК. Такой подход будет полезен разработчикам и специалистам по внедрению интерактивных программных комплексов и систем ВР в рамках построения ИмС.

Список источников

- [1] **Выборнова А.И.** Иммерсивные технологии в телекоммуникациях: обзор и перспективы // Информационные технологии и телекоммуникации. Том 9. № 3. 2021. С.1-10. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-1-10.
- [2] **Величковский Б.Б., Гусев А.Н., Виноградова В.Ф., Арбекова О.А.** Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах // Экспериментальная психология. Том 9. №1. 2016. С.5-20. DOI: 10.17759/exrpsy.2016090102.
- [3] **Гусев А.Н.** Ощущение и восприятие // Общая психология в 7 томах. Том 7. М.: Академия. 2007. 414 с.
- [4] **Фреге Г.** Избранные работы. М.: Дом интеллектуальной книги, 1997. 159 с.
- [5] **Пирс Ч.С.** Что такое знак? // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 3(7). С.88-95.
- [6] **Якобсон Р.О.** Язык и бессознательное. М.: Гнозис, 1996. 248 с.
- [7] **Моррис Ч.У.** Основания теории знаков. В кн.: Семиотика: Антология. Сост. Ю.С. Степанов. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга. 2001. 702 с.
- [8] **Лотман Ю.М.** Статьи по семиотике культуры и искусства, СПб.: Гуманитарное агентство «Академический проект», 2002. 544 с.
- [9] **Ноговицын О.М.** Онтология формы. Восприятие // Философские исследования. Т.7. № 2(14). 2018. С.40-57.
- [10] **Нестеров А.Ю.** Семиотические основания техники и технического сознания. Самара: Издательство Самарской гуманитарной академии, 2017. 155 с.
- [11] **Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В. и др.** Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова, т. 15, № 1. 2020. С. 89-98. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017.
- [12] **Зеленский М.М., Рева С.А., Шадеркина А.И.** Виртуальная реальность (VR) в клинической медицине: международный и российский опыт // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. №7(3). С.7-20. DOI: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20.
- [13] **Иващенко А.В., Александрова М.В., Жейков Д.С., Захарова Е.В., Колсанов А.В.** Адаптация интерфейсов виртуальной реальности в приложениях психодиагностики и медицинской реабилитации // Медицинская техника. № 5. 2023. С.33-35.
- [14] **Иващенко А.В., Александрова М.В., Жейков Д.С., Мазанкина Е.В., Захарова Е.В., Колсанов А.В.** Реализация программного комплекса психодиагностики с обратной связью на основе компьютерного зрения // Программные продукты и системы, Том 37, № 2, 2024. С.193-200. DOI: 10.15827/0236-235X.142.193-200.
- [15] **Иващенко А.В., Орлов С.П., Кривошеев А.В.** Пользовательские интерфейсы акцентной визуализации в среде дополненной реальности // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 5 / под общ. ред. А. А. Большакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2020. С.91-95.
- [16] **Бурлачук Л.Ф.** Психодиагностика: учебник для ВУЗов. СПб.: Питер, 2006. 351 с.
- [17] **Сидоров К.Р.** Количественная оценка продуктивности внимания в методике "корректирующая проба" Б. Бурдона // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2012. №4. С.50-57.
- [18] **Хохлов Н.А., Фёдорова Е.Д.** Стандартизация электронной версии корректирующей пробы (теста Бурдона) // Апробация. 2016. № 8 (47). С.66-74.
- [19] **Худик В.А.** Экспериментальное изучение простых сенсомоторных реакций с помощью таблиц Шульте // Коррекционно-педагогическое образование. 2018. № 1(13). С.86-91.
- [20] **Визерский А.В., Николаева Ю.С.** Таблица Горбонова-Шульте как средство оценки переключения и распределения внимания // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т.3, № 4(14). С.757-759.

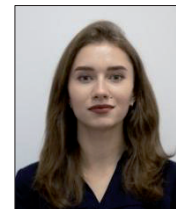
Сведения об авторах



Иващенко Антон Владимирович, 1980 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева в 2003 г., д.т.н. (2012), профессор (2018). Директор Передовой медицинской инженерной школы СамГМУ. В списке научных трудов более 400 научных работ. Author ID (РИНЦ): 330112; Author ID (Scopus): 42661608400, anton.ivashenko@gmail.com. ✉



Александрова Маргарита Владимировна, 1998 г. рождения. Окончила Самарский государственный технический университет в 2022 г. Менеджер проектов в ООО «Открытый код». В списке научных трудов около 20 работ. Author ID (РИНЦ): 1143583; Author ID (Scopus): 57970631000, margarita.alexandrowa@mail.ru.



Жейков Денис Сергеевич, 1991 г. рождения. Окончил Самарский государственный медицинский университет в 2015 г., врач-психиатр. Руководитель практики Передовой медицинской инженерной школы СамГМУ. В списке научных трудов около 10 работ. Author ID (РИНЦ): 1009022; Author ID (Scopus): 58844784900, d.s.zheikov@samsmu.ru.

Нестеров Александр Юрьевич, 1978 г. рождения. Кандидат филологических наук, доктор философских наук. Директор социально-гуманитарного института, заведующий кафедрой философии Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Область научных интересов: общая семиотика и герменевтика, философия науки и техники, теория значения. Автор переводов классических трудов Фридриха Дессауэра «Спор о технике», «Человек и космос». Author ID (РИНЦ): 706559; Author ID (Scopus): 57222081807, phil@ssau.ru.



Поступила в редакцию 18.06.2024, после рецензирования 22.07.2024. Принята к публикации 25.07.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-311-323

Semiosis of visual stimuli in interactive user interfaces of medical applications

© 2024, A.V. Ivaschenko^{1,2}✉, M.V. Aleksandrova², D.S. Zheikov², A.Yu. Nesterov¹

¹ Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia

² Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract

The problem of achieving completeness and unity of objective, subjective, and virtual reality is considered in relation to the applied tasks of designing interactive user interfaces. Within the framework of constructing an immersive environment using modern information technologies, the problem of forming an ontology of perception is investigated. The key role of a sign in information interaction is highlighted, taking into account the individual characteristics of its perception by users of virtual reality. In an immersive environment, virtual signs can be embodied both as observable objects with varying degrees of realism and directly in the form of signs, both graphic and text, that have a specific location in space. The proposed approach allows for setting an algorithm for visual impact on a person by dynamically forming a sequence of signs. The formed sequences create a queue of visual stimuli that adjust the tempo-rhythm of the user's interaction with the computer system. The signs observed by the user can be classified as iconic signs corresponding to conventional symbols or pictograms, index signs acting as pointers to other objects and marking space for orientation purposes, and symbolic signs signaling or warning about changes in an object, event, or phenomenon. The article considers test examples of user behavior in a virtual reality environment. The proposed approach is implemented in a software system for psychological diagnostics and rehabilitation. A special feature of the system is the control of patient involvement based on the analysis of the dynamics of head movements, facial movements, and gaze trajectory using artificial neural networks. In case of distraction or loss of interest, the computer system adapts the user interface by adding

visual stimuli according to specified pragmatic rules. The application of the obtained results has enabled the adaptation of the user interface and created the possibility for a personalized approach to the provision of medical services.

Keywords: immersive environment, virtual reality, attention management, signs, psychological diagnostics, rehabilitation.

For citation: Ivaschenko AV, Aleksandrova MV, Zheikov DS, Nesterov AY. Semiosis of visual stimuli in interactive user interfaces of medical applications [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 311-323. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-311-323.

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

List of figures and tables

Figure 1 - Diagram of a system for controlling user attention in an immersive environment

Figure 2 - Example of switching to a new object in an immersive environment

Figure 3 - Increased engagement

Figure 4 - Maintaining engagement

Figure 5 - Examples of different index signs to attract the user's attention when taking a psychological test

Figure 6 - Examples of using signs such as index (highlighting in color) and symbol (indicating the next value) to facilitate passing a psychological test using the Schulte table

Table 1 - Use of signs in interactive user interfaces

Table 2 - Semiosis of visual stimuli for monitoring user involvement in interactive software systems

References

- [1] **Vybornova AI.** Immersive technologies in telecommunications: review and prospects [In Russian]. *Information technologies and telecommunications*. 2021; 9(3): 1-10. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-1-10.
- [2] **Velichkovsky BB, Gusev AN, Vinogradova VF, Arbekova OA.** Cognitive control and sense of presence in virtual environments [In Russian]. *Experimental psychology*. 2016; 9(1): 5-20. DOI: 10.17759/exppsy.2016090102.
- [3] **Gusev AN.** Sensation and perception [In Russian]. General psychology in 7 volumes. Volume 7. Moscow: Academy. 2007. 414 p.
- [4] **Frege G.** Selected works [In Russian]. Moscow: House of intellectual books. 1997. 159 p.
- [5] **Pierce CS.** What is a sign? [In Russian]. *Bulletin of Tomsk State University*. 2009; 3(7): 88-95.
- [6] **Jacobson RO.** Language and the unconscious [In Russian]. Moscow: Gnosis, 1996. 248 p.
- [7] **Morris CW.** Foundations of the theory of signs [In Russian]. In the book: Semiotics: An Anthology. Comp. Yu.S. Stepanov. Ed. 2nd, rev. and additional. Moscow: Academic Project; Ekaterinburg: Business book. 2001. 702 p.
- [8] **Lotman YuM.** Articles on the semiotics of culture and art [In Russian]. St. Petersburg: Humanitarian Agency "Academic Project". 2002. 544 p.
- [9] **Nogovitsyn OM.** Ontology of form. Perception [In Russian]. *Philosophical Studies*. 2018; 7(2): 40-57.
- [10] **Nesterov AY.** Semiotic foundations of technology and technical consciousness [In Russian]. Samara: Publishing House of the Samara Humanitarian Academy, 2017. 155 p.
- [11] **Karpov OE, Daminov VD, Novak EV. and others.** Virtual reality technologies in medical rehabilitation, as an example of modern healthcare informatization [In Russian]. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogova*. 2020; 15(1): 89-98. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017.
- [12] **Zelensky MM, Reva SA, Shaderkina AI.** Virtual reality (VR) in clinical medicine: international and Russian experience [In Russian]. *Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health Care*. 2021; 7(3): 7-20. DOI: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-7-20.
- [13] **Ivaschenko AV, Aleksandrova MV, Zheikov DS, Zakharova EV, Kolsanov AV.** Adaptation of virtual reality interfaces in applications of psychodiagnostics and medical rehabilitation [In Russian]. *Medical technology*. 2023; 5: 33-35.
- [14] **Ivaschenko AV, Aleksandrova MV, Zheikov DS, Mazankina EV, Zakharova EV, Kolsanov AV.** Psychodiagnostics software with computer vision feedback [In Russian]. *Software & Systems*. 2024; 37 (2): 193-200. DOI: 10.15827/0236-235X.142.193-200.
- [15] **Ivaschenko AV, Orlov SP, Krivosheev AV** User interfaces for accent visualization in an augmented reality environment [In Russian]. *Mathematical methods in engineering and technology*: St. Petersburg: Polytechnic Publishing House, 2020: 91-95.

- [16] **Burlachuk LF.** Psychodiagnostics: textbook for universities [In Russian]. St. Petersburg: Peter, 2006. 351 p.
 - [17] **Sidorov KR.** Quantitative assessment of the productivity of attention in the method of “proofreading test” by B. Burdon [In Russian]. *Bulletin of the Udmurt University. Series Philosophy. Psychology. Pedagogy.* 2012; 4: 50-57.
 - [18] **Khokhlov NA, Fedorova ED.** Standardization of the electronic version of the proof test (Bourdon test) [In Russian]. *Approbation.* 2016; 8(47): 66-74.
 - [19] **Khudik VA.** Experimental study of simple sensorimotor reactions using Schulte tables [In Russian]. *Correctional pedagogical education.* 2018; 1(13): 86-91.
 - [20] **Vizersky AV, Nikolaeva YuS.** Gorbotov-Schulte table as a means of assessing switching and distribution of attention [In Russian]. *Current problems of aviation and astronautics.* 2018; 3(4): 757-759.
-

About the authors

Anton Vladimirovich Ivaschenko (b. 1980) graduated from the Samara State Aerospace University in 2003, Doctor of Technical Sciences (2012), professor (2018). Director of the Higher School of Medical Engineering at the Samara State Medical University. The list of scientific papers includes more than 400 scientific papers. Author ID (RSCI): 330112; Author ID (Scopus): 42661608400, anton.ivashenko@gmail.com. ✉

Margarita Vladimirovna Aleksandrova (b. 1998) graduated from the Samara State Technical University in 2022. Project Manager at Open Code LLC. The list of scientific papers includes about 20 works. Author ID (RSCI): 1143583; Author ID (Scopus): 57970631000, margarita.alexandrowa@mail.ru.

Denis Sergeevich Zheikov (b. 1991) graduated from the Samara State Medical University in 2015, psychiatrist. Head of practice of the Higher School of Medical Engineering at the Samara State Medical University. The list of scientific papers includes about 10 works. Author ID (RSCI): 1009022; Author ID (Scopus): 58844784900, d.s.zheikov@samsmu.ru.

Alexander Yurjewich Nesterov (b. 1978) PhD on philology, Doctor (hab.) of philosophy, Director of the Institute of Social Sciences and Humanities, Head of the Department of Philosophy of the Samara National Research University. The areas of scientific interests include: general semiotics and hermeneutics, philosophy of science and technology, theory of meaning. Author of the translations of the classic works of Friedrich Dessauer "The controversy about technology", "Human and cosmos". Author ID (RSCI): 706559; Author ID (Scopus): 57222081807, phil@ssau.ru.

Received June 18, 2024. Revised July 22, 2024. Accepted July 25, 2024.



Категориальный анализ логики в концептуальном моделировании предметных областей для семантической целостности информационных ресурсов

© 2024, В.В. Антонов¹, Н.А. Кононов¹ ✉, Е.В. Пальчевский²

¹Уфимский университет науки и технологии (УУНТ), Уфа, Россия

²Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация

Рассматривается возможность применения аппарата категориального анализа логики для формирования концептуальной модели предметной области для проектирования информационной системы. Сформулирована проблема семантической разобщённости информационных ресурсов. Актуальность исследований обусловлена динамичным развитием информационных технологий и потребностью в их интеграции. Определено, что семантическая разобщённость возникает в процессе интеграции гетерогенных информационных ресурсов, «заложенная» на этапе проектирования информационных систем в рассматриваемой предметной области. Выявлено влияние, оказываемое информационной системой, содержащей нарушения семантической целостности, на обеспечиваемые бизнес-процессы. Выделены проблемы-маркеры: информационные разрывы, дублирование информации, необходимость предварительной обработки информации. Показано, что интеграция информационных ресурсов является обязательным, но не единственным условием для формирования семантической целостности системы. Предложено формирование единого контекста для интегрируемых компонентов системы как обязательного условия их интеграции. Разработана классификация подходов к интеграции информационных ресурсов, базирующихся на их семантической целостности. Сформулированы предложения по применению аппарата категориального анализа логики в рамках концептуального моделирования предметной области как универсального компонента по обеспечению семантической целостности системы. Новизна предлагаемого подхода заключается в рассмотрении компонентов информационной системы как множеств на базе теории категорий, выстраивании категориальных отношений между ними и идентификации структурных изоморфизмов в формальной модели.

Ключевые слова: категориальный анализ логики, формальная модель, семантическая целостность, проектирование, информационная система.

Цитирование: Антонов В.В., Кононов Н.А., Пальчевский Е.В. Категориальный анализ логики в концептуальном моделировании предметных областей для семантической целостности информационных ресурсов // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.324-334. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334.

Финансирование: исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения Государственного задания № FEUE-2023-0007.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные предприятия и организации действуют в динамичной внешней среде, к которой адаптируются путём изменения бизнес-процессов (БП). Их информационные системы (ИС) устаревают, внедряются новые, изменяются программные и аппаратные платформы, изменяется регулирующее область законодательство [1, 2]. Под действием перечисленных факторов изменяются эксплуатационные свойства ИС, которые могут быть измерены: время, стоимость, масштаб и устойчивость изменений [3]. Понятие гибкости ИС предприятия и её концептуальная модель рассмотрены в работе [4].

В результате организация имеет ряд унаследованных систем, не интегрированных в единую ИС. Каждая ИС представляет собой информационный ресурс (ИР) с собственными информационными структурами и логикой их преобразования. БП предприятия, столкнувшегося с ситуацией наличия множества ИР, не интегрированных на основе семантики данных, могут характеризоваться следующими недостатками: информационные разрывы; дублирование информации; необходимость синхронизации ИР [5-7].

Актуальность исследования обосновывается распространённостью многокомпонентных ИС и необходимостью разработки подхода (совокупности модели, метода и алгоритма) к проектированию интеграционных решений (программ и программных систем, входящих в состав ИС), обладающих семантической целостностью.

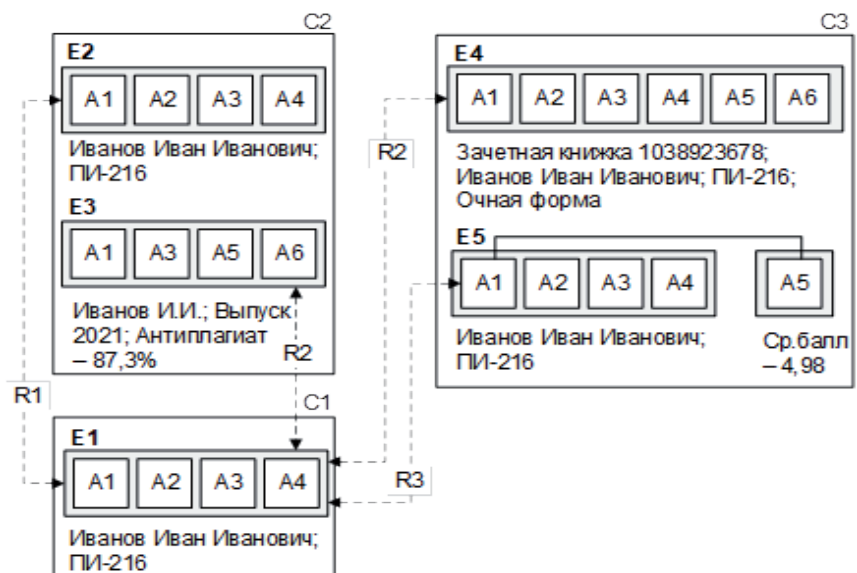
Целью исследования является разработка предложений по применению категориального анализа логики для концептуального моделирования предметной области (ПрО) как универсального компонента в виде формализованного подхода, направленного на обеспечение семантической целостности ИР на этапе проектирования ИС.

Для достижения поставленной цели проанализированы основные концепции моделирования ПрО: значение концепции абстракции [8] и её уровней в процессе проектирования ИС; базовые концепции категориального анализа логики; основные положения теорий информации, баз данных и нормализации. Для анализа БП применялись методы структурного анализа и декомпозиции [9], идентификация проблемы сопровождалась применением методов системного анализа [10].

1 Семантическая целостность ИР

В работе на концептуальном уровне рассматривается информационное моделирование ПрО, на основе общетеоретических понятий, обладающих инвариантными свойствами, необходимыми для решения задач в ПрО [11]. В семантической целостности ИР различные компоненты ИС оперируют едиными сущностями с

различным уровнем детализации [12]. На рисунке 1 представлено мнемоническое изображение вариативности соответствия сущностей различных ИР. Принадлежность объектов на рисунке изображена посредством вложенности графических элементов. Например, в рамках одного информационного контекста вложено несколько информационных сущностей. Сущность из одного ИР может полностью дублировать сущность другого ИР (Е1 и Е2), может частично соответствовать (Е1 и Е3, Е4), а может



А – атрибуты информационной сущности; Е – информационные сущности;
С – информационные контексты; R – отношения полного, частичного и фрагментного соответствия

Рисунок 1 - Мнемоническое изображение вариантов соответствия сущностей различных информационных ресурсов

быть разделена на несколько сущностей (E1 и E5). Каждая из сущностей характеризуется множеством атрибутов, в частности, сущность E1 характеризуется множеством $\{A1, \dots, A4\}$. Каждая сущность включена в один из семантических контекстов (C1, C2, C3).

Подобные отношения между сущностями различных ИР в рамках одной ИС вызывают ряд недостатков БП: необходимость конвертации контекста, экспертного соотнесения сущностей, предобработки с целью насыщения информационных сущностей; отсутствие возможности получения достаточной информации для выполнения БП.

На рисунке 2 показана цепочка причинно-следственных связей семантической разобщённости ИР. Внешняя среда оказывает влияние на БП организации и на ИС, обеспечивающую выполнение БП. Рассматриваемая система для сохранения своего функционирования претерпевает изменения внутри: изменяются компоненты ИС и БП. Предполагается, что на данном этапе формируется семантическая разобщённость ИР, которая может приводить к временным затратам и высокому риску возникновения ошибок [13].

Признаком семантической разобщённости является наличие различных моделей данных одной и той же сущности реального мира в компонентах ИС. Можно классифицировать разобщённость между компонентами ИС на структурную и семантическую.

Например, при взаимодействии двух компонентов ИС, отвечающих за бухгалтерский учёт и непрерывное образование сотрудников, может существовать две модели данных сущности «Сотрудник». Сущности могут различаться как по наименованию семантически идентичных атрибутов (например, «Фамилия», «Имя», «Отчество»), так и иметь различный атрибутивный состав в зависимости от целевого назначения компонента системы (например, «Стаж работы», «Дата прохождения курса переподготовки»).

Интеграция компонентов ИС является обязательным, но не единственным условием для формирования семантической целостности. Для её достижения необходимо согласование сущностей и атрибутов на основе их смысла – формирование единого семантического контекста между всеми информационными сущностями. Работа пользователя с различными компонентами ИС должна восприниматься как работа с единым ИР [14], не требующим трансформации, конвертации, обобщения, насыщения и других процедур обработки информации.

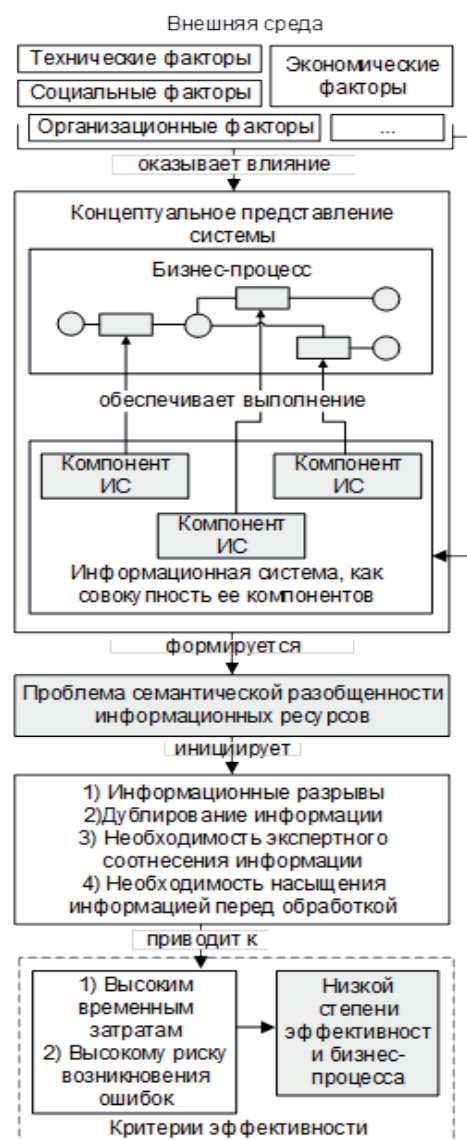


Рисунок 2 – Причинно-следственные связи семантической разобщённости информационных ресурсов

2 Подходы к интеграции компонентов ИС

На основе анализа подходов к интеграции компонентов ИС, разработана классификация, в основу которой положены результаты исследований [15-17]. Интеграция может быть осуществлена посредством:

1) определений и формальной структуризации используемых ИР, которая достигается средствами дополнительного компонента ИС, адаптирующего существующие ИР с использованием некоторого языка и формальной грамматики. На рисунке 3 представлена упрощённая модель первого типа интеграции компонентов ИС, где E – сущность ПрО, A – атрибут сущности ПрО, CMP и Z – компоненты ИС, FN – функция компонента, C – собственный семантический контекст, CU – универсальный семантический контекст.

2) определений и формальной структуризации пользовательских интерфейсов, которая достигается копированием и повторным вводом данных из одного компонента ИС в другой. На рисунке 4 представлена упрощённая модель второго типа интеграции компонентов ИС, где BF – бизнес-функция, BP – бизнес-процесс; BF* – конвертирующий контекст BP.

3) создания универсальной надстройки на основе формального, предметно-ориентированного графоаналитического метаязыка, которая предполагает организацию взаимодействия между компонентами ИС путём создания интеллектуальной системы интеграции ИР [18]. На рисунке 5 представлена упрощённая модель третьего типа интеграции компонентов ИС, где CMP* – конвертирующий контекст компонент.

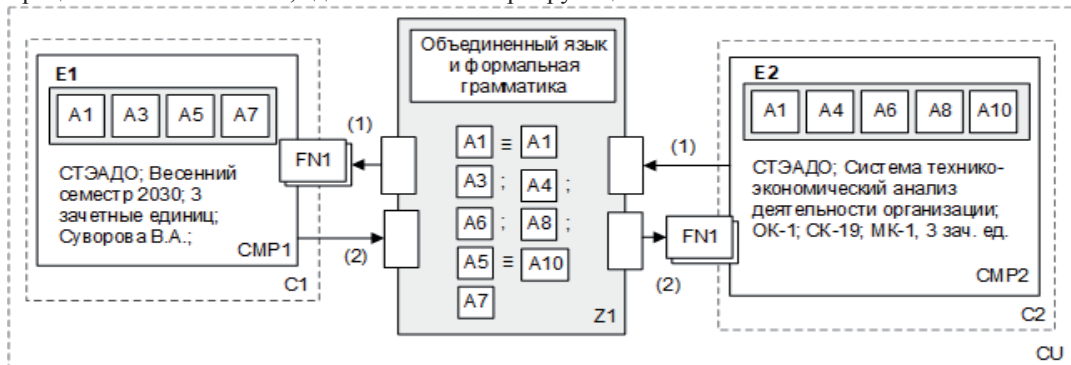


Рисунок 3 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством семантических определений и формальной структуризации используемых информационных ресурсов

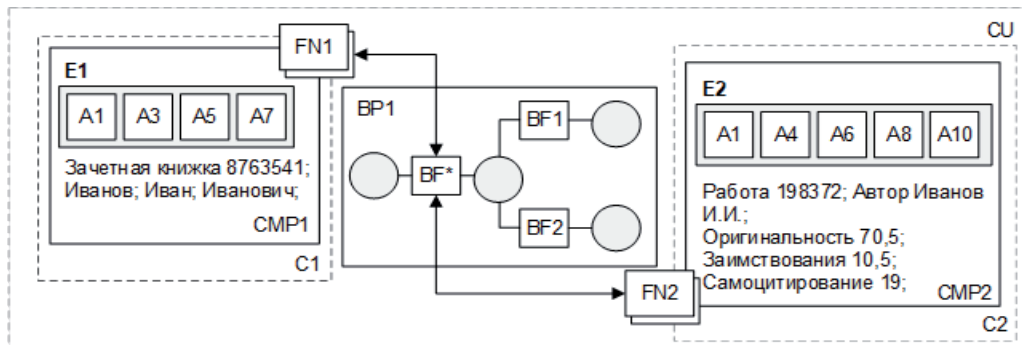


Рисунок 4 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством определений и формальной структуризации пользовательских интерфейсов

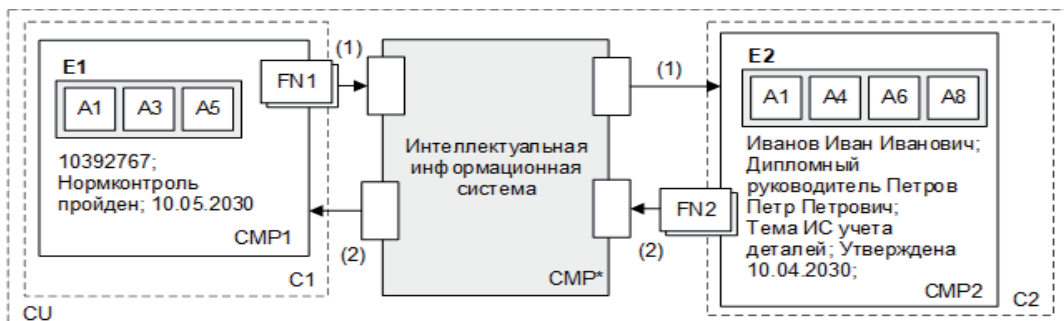


Рисунок 5 - Упрощённая модель подхода к интеграции компонентов информационной системы посредством создания универсальной надстройки

Таким образом, задача проектирования системных интеграций рассматривается как формирование общего контекста между N компонентами ИС с минимальным количеством

посредников (прослойки, конвертеров, брокеров, шлюзов). При решении задачи интеграции по принципу «каждый с каждым» между системами необходимо образовать $N(N-1)/2$ посредников, по принципу двухстороннего взаимодействия - $N(N-1)$.

3 Подход к семантической целостности ИР

Применения рассмотренных подходов интеграции компонентов ИС является не оптимальным по причине высокой сложности результирующей структуры при большом количестве интегрируемых компонентов [19]. Результирующая ИС представляет собой множество существующих компонентов ИС, дополненных кратным множеством компонентов-сопряжений для обеспечения конвертации контекста:

- в случае автоматической (алгоритмической) интеграции - большое количество точек возможных отказов, представляющих собой новые программные модули, обеспечивающие преобразование и приведение обрабатываемых структур данных;
- в случае автоматизированной (частично автоматизированной или не автоматизированной интеграции) - большое количество пользовательских интерфейсов ИС.

Предлагаемый подход заключается в рассмотрении компонентов ИС и её элементов как множеств на базе аппарата теории категорий, а выстраивание категориальных отношений между сущностями позволяет определять изоморфизмы в структурированной формальной модели. Данное свойство приводит к «поглощению» дублирующих объектов и снижению сложности компонентов ИС посредством структуризации элементов. В качестве целевой модели данных рассматривается реляционная модель как общепринятый стандарт.

Подход направлен на формирование формальной модели ИС с условием отсутствия противоречия и соблюдения полноты, достаточной для выполнения всех бизнес-функций. Подобная структуризация ПрО является обязательным этапом при проектировании ИС. Структуризация может быть достигнута за счёт применения теоретико-категориального аппарата и применения концепций *идентичности, агрегации и обобщения*. Согласно теории категорий [20, 21], ПрО P_w можно рассмотреть в виде категорий, представленных тремя множествами: сущностей (E), атрибутов сущностей (A) и отношений между сущностями (R). Формальное представление ПрО имеет следующий вид: $P_w = \{ \langle E_1, \dots, E_i \rangle; \langle A_1, \dots, A_k \rangle; \langle R_1, \dots, R_t \rangle \}$, где i, k, t – мощности множеств сущностей, атрибутов, отношений соответственно.

Осуществлён переход от понятий множеств к понятиям категорий. Категория сущностей ПрО задаётся классом объектов $Ob(E)$, категория атрибутов ПрО - классом объектов $Ob(A)$, категория связей между объектами - классом объектов $Ob(R)$.

Из основных аксиоматических положений можно утверждать, что для любых двух $a_1, a_2 \in Ob(A)$ существует множество $Ob(A)Hom_A(a_1, a_2)$, элементы которого называются морфизмами из a_1 в a_2 . Согласно этой аксиоме возможно представление отношения между двумя сущностями ПрО в виде морфизмов из категориального анализа логики (принято обозначать стрелками). Морфизм в рамках рассматриваемой задачи означает непрерывное отображение категории сущностей на категорию атрибутов. Таким образом, отношения между сущностями a_1 и a_2 можно записать $f: a_1 \rightarrow a_2$ или $a_1 = Dom(f)$ и $a_2 = Cod(f)$, которые рассматриваются как объект $r_1 \in Ob(R)$ упорядоченной тройки вида (A, f, B) . Для любых трёх объектов $a_1, a_2, a_3 \in Ob(A)$ может быть задана следующая композиция:

$$Hom_A(a_1, a_2) \times Hom_A(a_2, a_3) \rightarrow Hom_A(a_1, a_3),$$

$$(f: a_1 \rightarrow a_2, g: a_2 \rightarrow a_3) \rightarrow fg: a_1 \rightarrow a_3.$$

Аналогично морфизмы f и g могут быть рассмотрены как $r_1, r_2 \in Ob(R)$. Так как под морфизмами понимается отображение, которое позволяет сохранить структуру объекта категории [21], то его, в рамках формируемого подхода, можно интерпретировать как сохранение атрибутивного состава комплексной сущности при её декомпозиции и формирование между атрибутами категориальных отношений. Аналогичные выводы можно сделать и для других двух приведённых категорий.

Для связи трёх категорий $(Ob(E), Ob(A), Ob(R))$ предлагается использовать функторы. Ковариантный функтор $F: E \rightarrow A$ является отображением, которое сопоставляет каждому объекту $e_i \in E$ объект $F(e_i) \in A$, где i – номер элемента множества. Категория является не только множеством объектов, но и множеством формируемых морфизмов [18], каждому морфизму $f: e_i \rightarrow e_j$ в категории E соответствует морфизм $F(f): F(e_i) \rightarrow F(e_j)$ в категории A . Функтор между категориями сохраняет тождественные морфизмы (отношения) и структуру композиции морфизмов.

Пример концепции идентичности двух сущностей. Концепция идентичности заключается в определении идентичных фрагментов графа – изоморфизмов. Изоморфными можно назвать два встречных функтора $f_1: A \rightarrow E$, $f_2: E \rightarrow A$, такие, что $f_1 \times f_2 = 1_A$, $f_2 \times f_1 = 1_E$, где $\times$ – декартово произведение. Представленный морфизм является функторным изоморфизмом контравариантного функтора A в контравариантный функтор E . Данное утверждение можно обосновать следующим образом: пусть e_1 – объект категории E ; в категории A существует единственный морфизм $f_1(Y): A(Y) \rightarrow E(Y)$, такой, что $f_1(Y) \times f_2(Y) = 1_{A(Y)}$, $f_2(Y) \times f_1(Y) = 1_{E(Y)}$. Тогда можно определить функторный морфизм $f_1: A \rightarrow E$. Пример применения идентичности введённых условных обозначений и соответствующая диаграмма функторного морфизма представлены на рисунке 6. На рисунке показано разрешение семантической разобщённости двух информационных сущностей ($E1$ и $E1'$), находящихся в различных контекстах; посредством применения концепции идентичности сформирован универсальный контекст C_u , где произошло слияние сущностей с наследованием родительских связей ($E2, E4$).

Повышение уровня абстракции позволяет сформулировать ряд общих концепций и соответствующих им алгоритмов (алгоритмов на деревьях) с небольшой вычислительной сложностью, не зависящих от ПрО [22]. Возможность практического применения концепций агрегации и обобщения выполняется на базе введённых положений (категории, морфизмы, функторы). Подобного ограниченного синтаксиса достаточно для выражения любых семантических связей в рамках информационного моделирования.

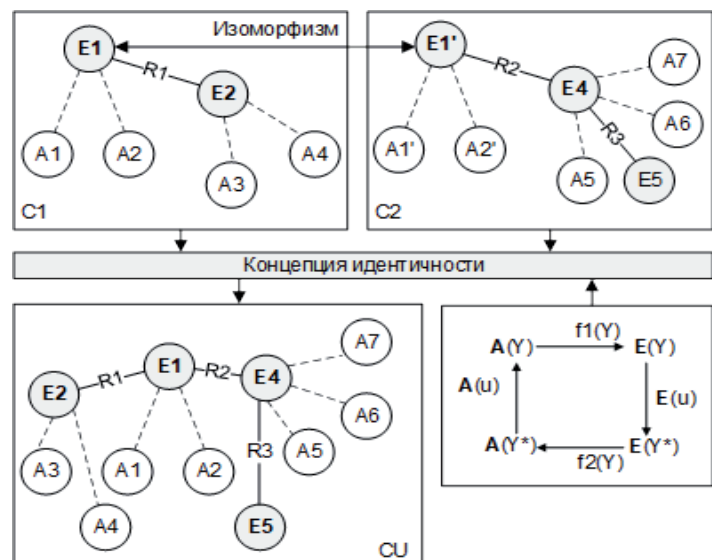


Рисунок 6 - Пример разрешения семантической разобщённости посредством применения концепции идентичности

На рисунке 7 представлен алгоритм предлагаемого подхода к концептуальному моделированию ПрО при проектировании ИС, который показывает последовательность действий при семантической интеграции элементов ИС. В каждой из алгоритмических веток присутствует одна из сформулированных концепций, которую нужно применить к выделенной сущности ПрО (обобщения, идентичности, агрегации), или сущность объединяется в существующую структуру.

Заключение

В работе определена цепочка причинно-следственных связей семантической разобщённости ИР в контексте проектирования ИС. Представлен подход (совокупность модели, метода и алгоритма), который облегчает формирование модели ПрО посредством применения аппарата категориального анализа логики.

Представленные в работе предложения на базе концепций идентичности, агрегации и обобщения позволят сократить количество семантически разобщённых ИР и повысить эффективность БП организации.

Количественный показатель эффективности предлагаемого в работе решения может быть исчислен на основе следующих компонентов:

1) количество сущностей ПрО, к которым применён принцип обобщения, и количество обобщённых атрибутов множества сущностей;

2) количество сущностей ПрО, к которым применен принцип идентичности, и количество идентичных атрибутов множества сущностей;

3) количество сущностей ПрО, к которым применен принцип агрегации, и количество агрегированных атрибутов ряда сущностей.

Каждый принцип направлен на сокращение количества сущностей ПрО и их атрибутивного состава. Следовательно, модель ПрО, лежащая в основе ИС, становится ближе к действительности и, как следствие, повышается эффективность обеспечиваемых БП (сокращаются временные затраты и снижается вероятность возникновения ошибки). Повышается также производительность ИС в виду сокращения количества объектов хранения (вне зави-



Рисунок 7 - Схема алгоритма предлагаемого подхода к семантической интеграции информационных элементов

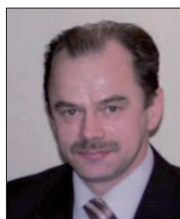
симости от типа используемой базы данных). Сформулированные положения использованы как основополагающие принципы при создании программного продукта, обеспечивающего структуризацию ПрО [23].

Список источников

- [1] **Антонов В.В., Конев К.А., Пальчевский Е.В., Родионова Л.Е., Баймурзина Л.И.** Обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе онтологической модели // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №1(51). С.107-118. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118.
- [2] **Kersten M., Khanagha S., Hooff B., Khapova S.** Digital transformation in high-reliability organizations: A longitudinal study of the micro-foundations of failure. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2023. DOI: 10.1016/j.jsis.2023.101756.
- [3] **Dove R.** Response Ability: The Language, Structure, and Culture of the Agile Organization, 2002. New York: Wiley. DOI: 10.1002/inst.20046241.
- [4] **Zelenkov Y.A.** Agility of enterprise information systems: A conceptual model, design principles and quantitative measurement. *Business Informatics*, 2018. No.2(44). P.30–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.30.44.
- [5] **Запорожцев А.В.** Проблемы проектирования автоматизированных систем управления организационно-техническими системами // *Вестник ННГУ*. 2013. №6-1. С.239-246.
- [6] **Liu X., Hu C., Huang J., Liu F.** A Semantic Data Integration and Service System Based on Domain Ontology // *IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*, Changsha, China, 2016. P.302-306, DOI: 10.1109/DSC.2016.15.
- [7] **Klein M.** Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions // *IJCAI-2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, Seattle, WA, 2001. P.53–62.
- [8] **Горский Д.П.** Вопросы абстракции и образования понятий. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 352 с.
- [9] **Марка Д., Макгоуэн К.** Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с.
- [10] Проблемы методологии системного исследования / Ред. И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин. М.: Мысль. 1970. 456 с.
- [11] **Колыбенко Е.Н.** Разграничение понятий математического и логического моделирования // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2019. 19(3). С.262-267. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267.
- [12] **Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Агадуллина А.И., Рассадникова Е.Ю.** Вопросы моделирования при организации информационной интеллектуальной поддержки управленческих решений в сложных системах // *Фундаментальные исследования*. 2017. №2. С.107-113.
- [13] **Кононов Н.А., Суворова В.А.** Разработка формальной модели реализации процесса взаимодействия компонентов сложной системы на примере информационного сопровождения приемной кампании. *Молодежный вестник УГАТУ*. 2023. №1(27). С.59-64.
- [14] **Ouksel A., Sheth A.** Semantic Interoperability in Global Information Systems: A Brief Introduction to the Research Area and the Special Section. *SIGMOD*, 1999, Record. 28. P.5-12.
- [15] **Куликов Г.Г., Сапожников А.Ю., Кузнецов А.А., Маврин А.С.** Методология проектирования системных моделей рабочих процессов с применением предметно-ориентированных метаязыков // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. Челябинск: 2020. С.45-55.
- [16] **Арсеньев Д.Г., Шкодырев В.П.** Семантическая интероперабельность киберфизических систем как технологической платформы систем промышленной автоматизации // *Материалы мультikonференции XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления*, 2023. Т.2. С.44-47.
- [17] **Олейников А.Я., Рубан К.А.** Модели и стандарты обеспечения интероперабельности // *Информатизация образования и науки*, 2009. №3 С.24-34.
- [18] **Куликов Г.Н., Антонов В.В., Антонов Д.В., Шингарев Ф.Ф.** Метод предметно-ориентированной классификации и системного моделирования слабоформализованных информационных потоков в системах автоматизированного производства // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. Челябинск: 2016. С.116-130.
- [19] **Vinogradov G.P., Prokhorov A.A.** Ontologies in the problems of building a concept domain model // *Software & Systems - Программные продукты и системы*. 2018. №4. С.677-683. DOI: 10.15827/0236-235X.124.677-683.
- [20] **Райков А.Н.** Онтологизация научных открытий // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021)*. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2021. С.342-348.

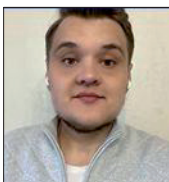
- [21] Топосы: Категорный анализ логики / Р. Голдблатт; Перевод с англ. В.Н. Гришина, В.В. Шокурова. М.: Мир, 1983. 486 с.
- [22] **Кормен Т.** и др. Алгоритмы: построение и анализ. 3-е изд: пер. с англ. М.: Вильямс, 2013. 1323 с.
- [23] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661463 РФ. «Программа автоматизированного семантического сопоставления сущностей информационных ресурсов на основе информационных моделей»: № 2024660117: заявл. 03.05.2024: опубл. 17.05.2024 / Н. А. Кононов.

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 УУНиТ. 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.

Кононов Никита Алексеевич, 1999 г. рождения. Окончил магистратуру УУНиТ (2023) по направлению «Прикладная информатика». Аспирант кафедры автоматизированных систем управления, УУНиТ. В списке научных трудов более 20 работ в области системного моделирования и проектирования информационных систем. AuthorID (РИНЦ): 1062057; ORCID: 0000-0001-8738-653X; ResearcherID: AAB-6061-2022. knnv.nkt@gmail.com. ✉



Пальчевский Евгений Владимирович, 1994 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет (2019). Старший преподаватель департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных трудов около 200 работ в области разработки программного обеспечения и интеллектуальных вычислений. AuthorID (РИНЦ): 837544. Author ID (Scopus): 57220744490; ORCID 0000-0001-9033-5741; Researcher ID (WoS): ABB-2403-2021. teelxp@inbox.ru

Поступила в редакцию 10.02.2024, после рецензирования 23.07.2024. Принята к публикации 26.07.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334

Categorical analysis of logic in conceptual modeling of subject areas for semantic integrity of information resources

© 2024, V.V.Antonov¹, N.A. Kononov¹ ✉, E.V. Palchevsky²

¹Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

²Finance University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

The article explores the potential use of categorical logic analysis to create a conceptual model of the subject area for designing an information system. The issue of semantic disunity of information resources is addressed, emphasizing its relevance due to the rapid development of information technologies and the need for their integration. Semantic disunity is identified as occurring during the integration of heterogeneous information resources, which is "embedded" at the design stage of information systems within the given subject area. The impact of an information system with violations of semantic integrity on the business processes it supports is examined, identifying problems such as information gaps, duplication, and the need for preliminary information processing. It is demonstrated that while integrating information resources is essential, it is not sufficient alone for achieving semantic integrity. The necessity of forming a single context for the integrated system components as a prerequisite for their integration is proposed. A classification of approaches to information resource integration based on semantic integrity is developed. Suggestions for applying categorical logic analysis within the framework of conceptual modeling of the subject area are presented as a universal

component for ensuring the system's semantic integrity. The novelty of the proposed approach lies in considering the information system components as sets based on category theory, building categorical relations between them, and identifying structural isomorphisms in the formal model.

Keywords: *categorical analysis of logic, formal model, semantic integrity, designing, information systems.*

Citation: *Antonov VV, Kononov NA, Palchevsky EV. Categorical analysis of logic in conceptual modeling of subject areas for semantic integrity of information resources [In Russian]. Ontology of Designing. 2024, 14(3): 324-334. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-324-334.*

Financial Support: The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the main part of the state assignment to higher education institutions No. FEUE-2023-0007.

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

List of figures

Figure 1 - Mnemonic representation of options for matching entities of various information resources

Figure 2 - Cause-and-effect relationships of semantic disunity of information resources

Figure 3 - A simplified model of the approach to integrating information system components through semantic definitions and formal structuring of the information resources used

Figure 4 - A simplified model of the approach to integrating of information system components through definitions and formal structuring of user interfaces

Figure 5 - A simplified model of the approach to integrating information system components by creating a universal add-on

Figure 6 - An example of resolving semantic disunity through the application of the concept of identity

Figure 7 - Algorithm diagram of the proposed approach

References

- [1] **Antonov VV, Konev KA, Palchevsky EV, Rodionova LE, Baymurzina LI.** Ensuring the relevance of enterprise business process knowledge based on an ontological model [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2024. 1(51). 107-118. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118
- [2] **Kersten M, Khanagha S, Hooff B, Khapova S.** Digital transformation in high-reliability organizations: A longitudinal study of the micro-foundations of failure. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2023. DOI: 10.1016/j.jsis.2023.101756.
- [3] **Dove R.** Response Ability: The Language, Structure, and Culture of the Agile Organization, March 2002. 6(2). DOI: 10.1002/inst.20046241.
- [4] **Zelenkov YA.** Agility of enterprise information systems: A conceptual model, design principles and quantitative measurement. *BusinessInformatics*, 2018. 2 (44). 30–44. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.30.44.
- [5] **Zaporozhtsev AV.** Problems of designing automated control systems for organizational and technical systems [In Russian]. *Bulletin of UNN*. 2013. 6-1. 239-246.
- [6] **X. Liu, C. Hu, J. Huang and F. Liu** A Semantic Data Integration and Service System Based on Domain Ontology // *IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*, Changsha, China, 2016. 302-306, DOI: 10.1109/DSC.2016.15
- [7] **Klein M.** Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. *IJCAI-2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, 2001. P.53–62.
- [8] **Gorsky DP.** Issues of abstraction and concept formation [In Russian]. *Publishing House of the USSR Academy of Sciences*. 1961. 352 p.
- [9] **Marka D, McGowan K.** Methodology of structural analysis and design of SAD. *MetaTechnology*, 1993, 240 p.
- [10] **Blauberger IV, Sadovsky VN, Yudin EG.** System approach in modern science [In Russian]. *Problems of methodology of systems research* / Ed. count I.V. Blauberger, V.N. Sadovsky, E.G. Yudin. Moscow, 1970.
- [11] **Kolybenko EN.** Distinction between the concepts of mathematical and logical modeling [In Russian]. *Bulletin of the Don State Technical University*. 2019. 19(3): 262-267. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-3-262-267.
- [12] **Yusupova NI, Smetanina ON, Agadullina AI, Rassadnikova EYu.** Modeling issues in organizing information intellectual support for management decisions in complex systems [In Russian]. *Fundamental Research*. 2017; 2: 107-113.

- [13] **Kononov NA, Suvorova VA.** Development of a formal model for implementing the process of interaction between the components of a complex system using the example of information support for the admissions campaign [In Russian]. *Youth bulletin of UGATU*. 2023; 1(27): 59-64.
- [14] **Ouksel A, Sheth A.** Semantic Interoperability in Global Information Systems: A Brief Introduction to the Research Area and the Special Section. *SIGMOD*, 1999, 28: 5-12.
- [15] **Kulikov GG, Sapozhnikov AYu, Kuznetsov AA, Mavrin AS.** Methodology for designing system models of work processes using domain-specific metalanguages [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: computer technologies, control, radio electronics*. Chelyabinsk: 2020. P.45-55.
- [16] **Arsenyev DG, Shkodyrev VP.** Semantic interoperability of cyberphysical systems as a technological platform for industrial automation systems [In Russian]. *Proceedings of the multiconference XVI All-Russian multiconference on management problems*, 2023; 2: 44-47.
- [17] **Oleynikov AY, Ruban KA.** Models and standards for ensuring interoperability [In Russian]. *Informatization of education and science*, 2009; 3: 24-34.
- [18] **Kulikov GN, Antonov VV, Antonov DV, Shingareev FF.** Method of subject-oriented classification and system modeling of weakly formalized information flows in automated production systems [In Russian]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: computer technologies, control, radio electronics*, 2016. pp.116-130.
- [19] **Vinogradov GP, Prokhorov AA.** Ontologies in the problems of building a concept domain model [In Russian]. *Software & Systems - Software products and systems*, 2018; 4: 677-683. DOI: 10.15827/0236-235X.124.677-683.
- [20] **Raikov A.N.** Ontology of scientific discoveries. Management of the development of large-scale systems [In Russian]. *Institute of Management Problems named after. V.A. Trapeznikov RAS*, 2021. pp. 342-348.
- [21] Topoi: Categorical analysis of logic R. Goldblatt; Trans. from English V.N. Grishina, V.V. Shokurov. - Moscow: Mir, 1983. 486 p.
- [22] **Cormen T.** Introduction to Algorithms. 3rd ed: trans. from English. Moscow: Williams, 2013. 1323 p.
- [23] Certificate of state registration of a computer program No. 2024661463 Russian Federation. "Program for automated semantic comparison of information resource entities based on information models": No. 2024660117: application. 05/03/2024: publ. 05.17.2024. N.A. Kononov.

About the authors

Vyacheslav Viktorovich Antonov (b. 1956) graduated from the Bashkir State University (1979), Ph.D. (2007), Doctor of Technical Sciences (2015). Head of the Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology (UUST). The list of scientific papers includes more than 130 works in the field of building intelligent systems. AuthorID (RSCI): 530537; Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AAH-5121-2019. antonov.v@bashkortostan.ru

Nikita Alekseevich Kononov (b.1999) graduated from the master's program at the UUST (2023) with a degree in Applied Informatics (Business Process Reengineering). Postgraduate student of the Department of Automated Control Systems, UUST. The list of scientific papers includes more than 20 works in the field of system modeling and design of information systems. AuthorID (RSCI): 1062057; ORCID: 0000-0001-8738-653X; Researcher ID: AAB-6061-2022. knnv.nkt@gmail.com ✉.

Evgeny Vladimirovich Palchevsky (b. 1994) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2019). Senior lecturer at the Department of Data Analysis and Machine Learning of the Financial University under the Government of the Russian Federation. The list of scientific works includes about 200 works in the field of software development and intelligent computing. AuthorID (RINC): 837544. Author ID (Scopus): 57220744490; ORCID 0000-0001-9033-5741; Researcher ID (WoS): ABB-2403-2021. teelp@inbox.ru.

Received February 10, 2024. Revised July 23, 2024. Accepted July 26, 2024.



Когнитивные проблемы освоения графических дисциплин при подготовке инженеров

© 2024, А.А. Ямпольский

Индивидуальный исследователь, г. Тула, Россия

Аннотация

Когнитивные проблемы освоения графических дисциплин объясняются внедрением компьютерных технологий. На кафедрах графики происходит переориентация учебного процесса на преподавание современных методов компьютерного 3D моделирования. Высказываются мнения о вторичности или даже об отказе от чертежей. В статье предлагается взгляд на чертежи как на разновидность текста. В качестве обоснования «лингвистического поворота» отмечается уникальная роль естественного языка как средства актуализации и распространения знаний. Прослеживается сходство основных свойств чертежей со свойствами текстов. Такими свойствами являются: дискретность элементов, конвенциональность, параметрический стиль описания объектов, концептуальность, иерархическое структурирование, контекстность восприятия. Утверждается, что определяющим условием реализуемости чертежей является не геометрическая точность изображений, а языковая точность, позволяющая «понять» чертёж и установить связь содержимого чертежа с технологиями производства объекта или его компьютерной модели. Обосновывается исключительная роль чертежей как языка техники, отвергается возможность замены чертежей 3D моделированием. Устанавливается взгляд на проектную документацию как на составную часть единой пирамиды знаний. Подчёркивается роль концепции вычислимых знаний в эффективном использовании знаний. Приводится список вопросов, которые могут быть включены в содержание преподавания «языка техники».

Ключевые слова: когнитивные проблемы, чертёж, 3D моделирование, вычислимые знания, язык техники, техническая документация, проект.

Цитирование: Ямпольский А.А. Когнитивные проблемы освоения графических дисциплин при подготовке инженеров // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №3(53). С.335-343. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-335-343.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Теоретической основой графических дисциплин является начертательная геометрия, которая изучает способы изображения пространственных объектов на плоскости. Её практическое применение развивалось по двум направлениям: в *исследовательском направлении* на основе плоских изображений решались пространственные задачи (см., например, [1]); в *коммуникативном направлении* изображения рассматривались как элементы языка, позволяющего создать общее согласованное представление о пространственной организации объектов.

Развитие *исследовательского направления* на кафедрах графики видят в переориентации учебного процесса путём переноса центра тяжести с чертёжных методов решения геометрических задач на их решение с помощью современных программ 3D моделирования (см., например, [2]). *Коммуникативная роль* начертательной геометрии имеет прямое отношение к чертежам, требования к которым приведены, например, в [3]. Чертёж должен быть:

- средством восприятия чужих и передачи другим своих мыслей;
- наглядным, т.е. по изображению предметов на плоскости мог создавать их пространственное представление;

- обратимым, т.е. таким, чтобы по нему можно было точно воспроизвести форму, размеры и положение предметов;
- осуществимым, т.е. обеспечивать возможность изготовления по чертежам объектов.

Во многих работах¹ отмечаются недостатки в преподавании графических дисциплин и намечаются пути их преодоления, в основном, связанные с внедрением компьютерных технологий [4-6].

В статье предлагается обратить внимание на *коммуникативное направление* развития графических дисциплин. Оно связано с языком, через язык – с обработкой знаний. Исследования в этой области носят глобальный характер и дают многообещающие результаты (см., например, [7, 8]). В статье развиваются результаты работ автора, представленные на портале isicad.ru².

1 Язык инженера

В основе проектирования лежат два процесса: первый – приобретение, второй – распространение знаний. Невозможно сказать, что важнее: способность найти правильное техническое решение или способность объяснить свои намерения, донести свои знания до окружающих. Единственным средством передачи знаний является язык.

«Лингвистический поворот» означает смену парадигмы: от парадигмы «это всё о геометрии» к парадигме «это всё о языке». Чертеж на рисунке 1 наглядно демонстрирует эволюцию в этом направлении. На чертеже нет «точных» проекций. Тем не менее, арматурные сетки, изготовленные по этому чертежу и по аналогичному чертежу, выполненному с какой угодно геометрической точностью, будут одинаковы.

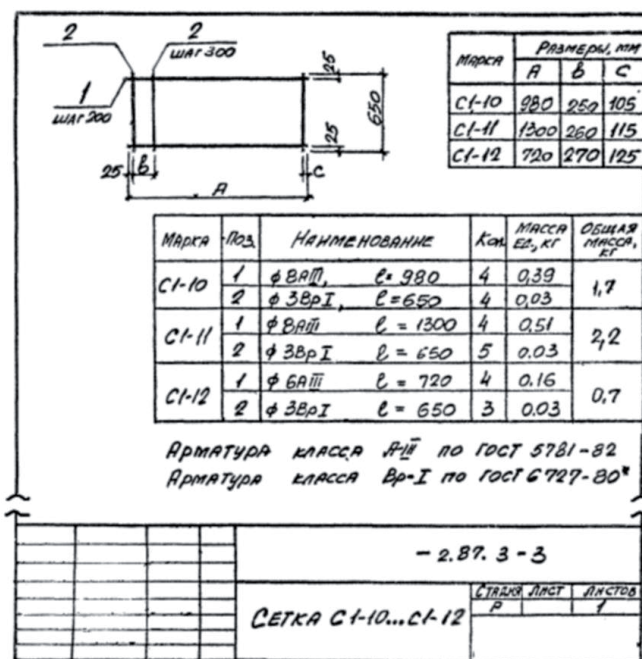


Рисунок 1 – Производственный чертёж арматурных сеток

¹Баздеров Г.А. Из опыта организации и проведения олимпиад студентов и школьников по графическим дисциплинам. Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, 2019. С.303-308. <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Other/2019/ffp/pages/Articles/25.pdf>.

Гаврилов В.Н. Изменение концепции преподавания графических дисциплин в техническом вузе. Региональная межвузовская научно-практическая конференция «Высшее профессиональное образование в Самарской области: история и современность». Самара, СГАУ. 2011. <http://repo.ssau.ru/bitstream/Regionalnaya-mezhvuzovskaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-Vysshee-professionalnoe-obrazovanie-v-Samarskoi-oblasti-istoriya-i-sovremennost/Izmenenie-koncepcii-prepodavaniya-graficheskikh-disciplin-v-tehnicheskome-vuze-63187/1/52-56.pdf>.

Рукавишников В.А., Галиulina А.Р. Кризис графической подготовки - начало четвертой научно-технической революции. Казанский государственный энергетический университет, http://ng.sibstrin.ru/brest_novosibirsk/2024/doc/030.pdf.

Сергеева И.А. Преподавание графических дисциплин студентам технического вуза в современных условиях. V международная интернет-конференция «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации» КГП-2015. <https://dgng.pstu.ru/conf2015/papers/73/>.

²Ямпольский А.А. Когнитивное моделирование зданий. 18 июля 2013. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16284.

Ямпольский А.А. Что вначале: чертежи или модели? 7.02.2022 г. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22236.

Ямпольский А.А. Аксиомы проектирования. 8.06.2022 г. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22359.

Ямпольский А.А. Цифровизация или цифровое болото. 19.02.2024 г. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22894.

Причина в том, что чертёж не геометрически, а семантически точен, т.е. содержит ровно столько числовой, текстовой и графической информации, чтобы с привлечением доступных технологий физический объект или компьютерная модель могли быть осуществлены.

Нетрудно заметить параметрический стиль описания арматурных сеток на чертеже. Параметрическое описание, как правило, включает в себя следующие элементы:

- формализованные концептуальные схемы объекта (изображения);
- числовые и символьные параметры объекта, ссылки, пояснения;
- вспомогательные элементы, например, размерные и выносные линии.

Параметрическое описание вполне можно рассматривать как пиктографический текст (см. рисунок 2).

Чертёж на рисунке 1 не является исключением, все строительные чертежи построены на основе параметрического подхода. С учётом сказанного, можно дать общее формальное определение чертежа.

Чертёж – лингвистическая модель, содержащая концептуализированное (параметрическое) описание объекта и состоящая из фрагментов пиктографического и алфавитно-цифрового текста³.

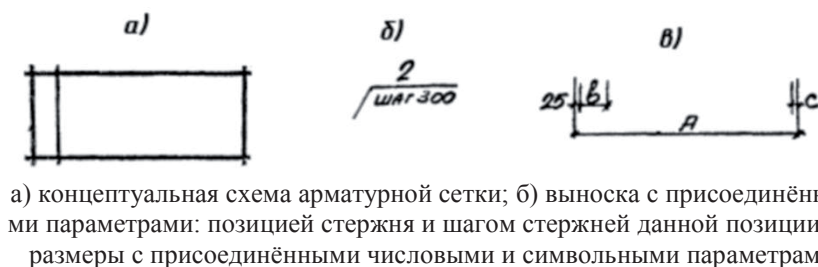


Рисунок 2 – Пиктограммы на чертеже

2 Взгляд на чертёж как на текст

Проектную документацию принято делить на две части. К первой относятся графические документы (чертежи), ко второй – документы, содержащие в основном сплошной текст. Эволюция чертежей постепенно стирает границу между этими частями.

Сходство традиционного текста и графических изображений на чертежах подтверждают следующие их свойства.

Дискретность (членимость). В тексте всегда можно вычленить его составляющие: буквы, слова, предложения, абзацы, главы. Пиктограммы на чертеже обладают тем же свойством и изображаются так, чтобы их обособленность была очевидна.

Нечувствительность к точности изображения. Напечатанное или написанное «от руки» слово вызывает один и тот же образ; пиктограмма арматурной сетки (см. рисунок 2) не требует тщательного выравнивания линий, соблюдения пропорций, углов наклона.

Различимость и конвенциональность. Языковые знаки алфавитного текста (например, слова) имеют конвенциональные (договорные) связи с предметами, которые они замещают. То же самое относится к знакам пиктографического текста – пиктограммам. Зрительное сходство знаков с замещаемыми предметами не обязательно; обязательна лишь различимость знаков. Знаки, обозначающие разные предметы, должны зрительно отличаться друг от друга (см. например, пиктограммы арматурных сеток и проёмов на чертежах перекрытий [9]).

Концептуальность. На рисунке 3 приведён пример «сырого» (слева) и концептуализированного (справа) чертежей. Концептуализировать чертёж – значит отбросить лишнее, не имеющее в данном контексте отношения к делу, и оставить только необходимое.

Иерархическое структурирование – деление на разделы, главы, параграфы, предложения, слова – неотъемлемое свойство текста, дающее возможность его восприятия. На рисунке 4 представлены примеры структурирования пиктографического и традиционного текстов.

План типового этажа (рисунок 4а) можно рассматривать как сложную пиктограмму, включающую в себя пиктограммы стен, помещений, оборудования и т.п. На плане выделены пиктограммы помещений угловой

³ См. также ГОСТ Р 2.109-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. Дата введения 2024-03-01. *Прим.ред.*

квартиры и помещений, лежащих на пути эвакуации из квартир. На рисунке 4б перечислены требования к дверям на путях эвакуации. В целях облегчения машинной обработки текст структурирован по признакам «исполнения», «комплектации» и «запрета».

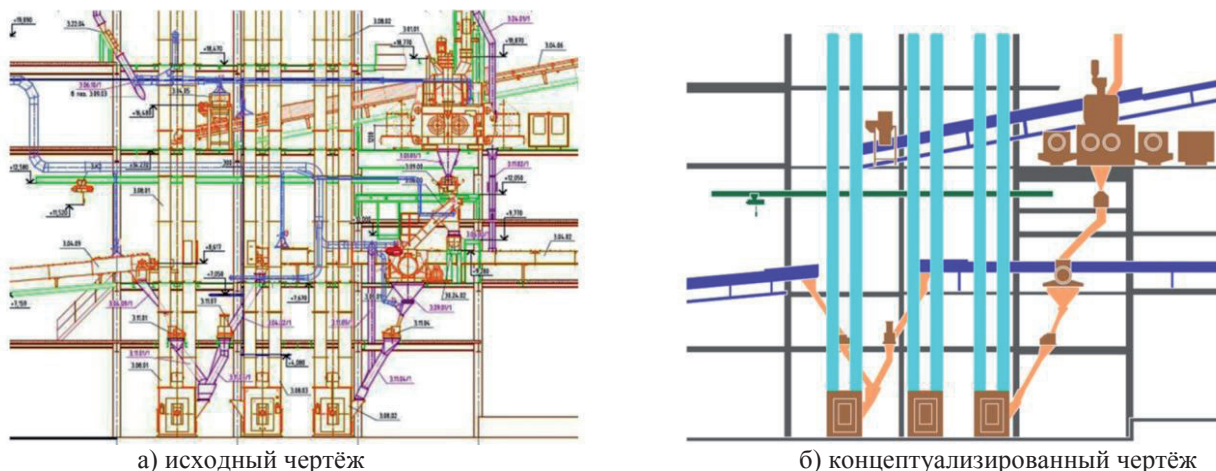


Рисунок 3 – Концептуализация чертежа

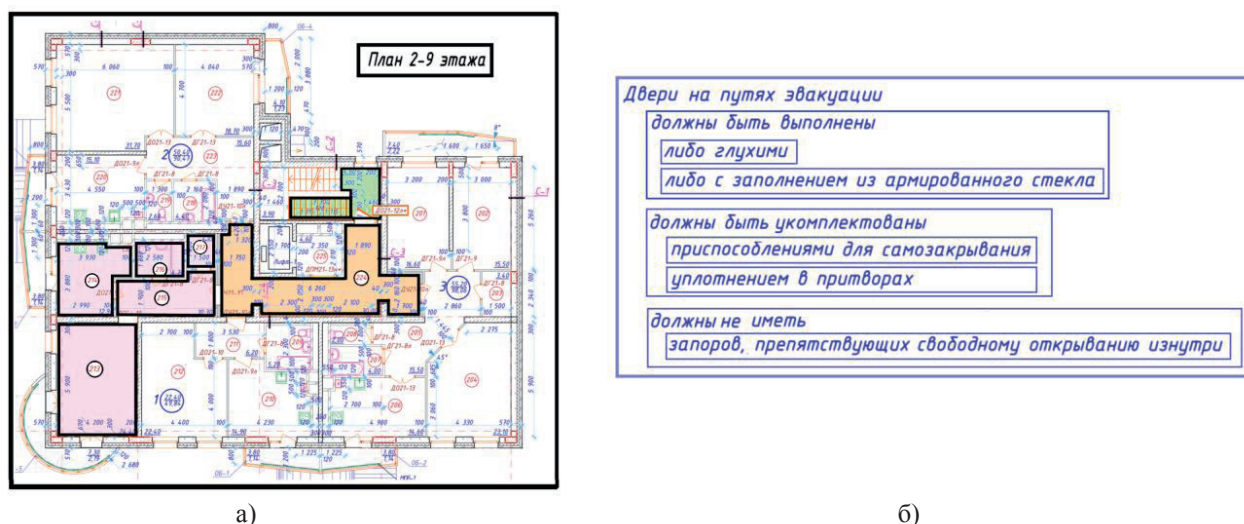


Рисунок 4 – Структурирование пиктографического (а) и традиционного текстов (б)

Контекстность. Текст невозможно понять без учёта контекста. Чертежи обладают тем же свойством. Чертёж на рисунке 1 понимается в силу того, что он входит в состав раздела «Конструктивные решения», являясь детализацией схемы армирования и содержит в основной надписи слово «Сетка».

Реализуемость чертежей полностью зависит от наличия технологий: компьютерных – для реализации в виде цифровых моделей; производственных – в виде реальных объектов.

Если технология существует, то достаточно иметь концептуальную схему, указать параметры и дать ссылку на технологию. Если для сложного объекта специальной технологии не существует, применяется метод иерархической декомпозиции. Объект путём ссылки на детализирующие чертежи разбивается на более простые объекты. Процедура упрощения повторяется до тех пор, пока все объекты на чертеже не получают технологической поддержки.

3 3D модели как замена чертежей?

Не вызывает сомнений, что 3D моделирование успешно справляется с решением аналитических (прочностных, теплотехнических, геометрических и пр.) задач. Однако, способ-

ность моделей «объяснять» самих себя далеко не очевидна. В 3D моделях нет абстрактных объектов, таких как «типовой этаж», «типовой узел», «перегородка», «расстояние»; есть конкретные этажи, узлы, перегородки и расстояния. На рисунке 5 показано, к чему, с точки зрения «понимания», приводит подход, основанный на необходимости копировать в модели каждый экземпляр объектов реального мира.

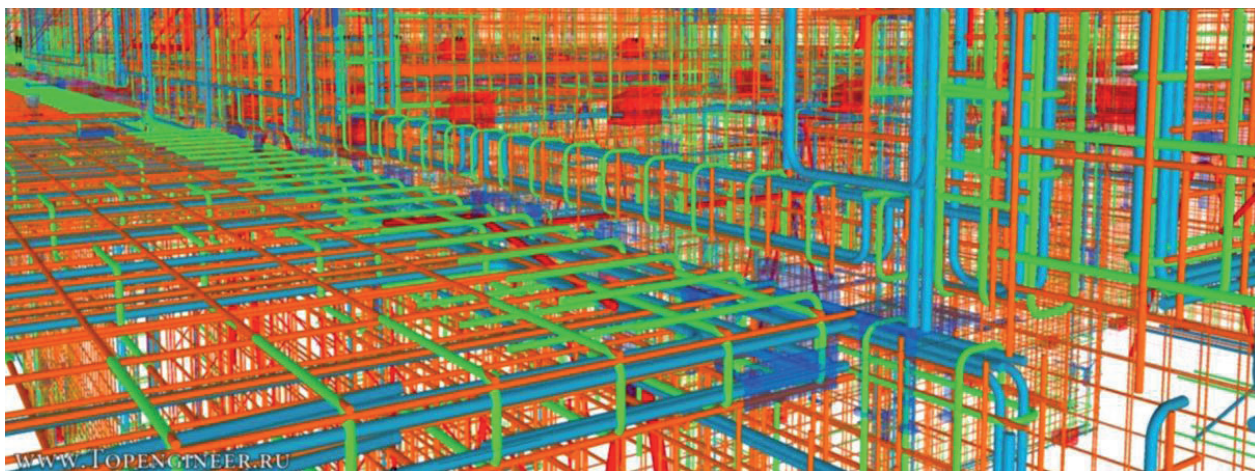


Рисунок 5 – 3D модель арматурного каркаса монолитного здания

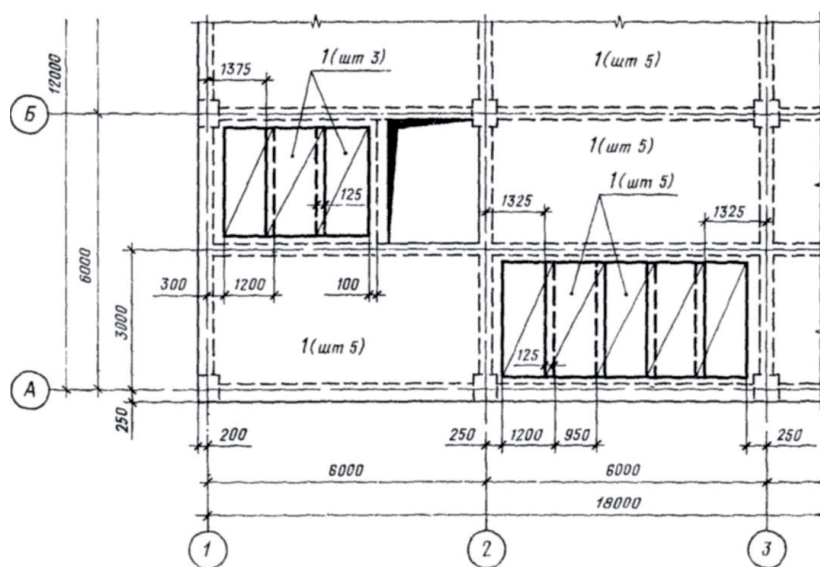


Рисунок 6 – Схема армирования перекрытия

Не менее проблематична возможность автоматической генерации чертежей. Например, получить чертеж, такой как на рисунке 6, на основе анализа 3D модели рисунка 5 под силу только будущему искусственному интеллекту. На самом деле, задача ещё сложнее: нужно автоматически создать не отдельные чертежи, а проектную документацию.

3D модели используются для получения знаний об объекте. Процесс добывания новых знаний состоит в следующем: на основе начальных параметров строится модель;

производится испытание модели; полученные результаты (данные) анализируются, начальные параметры корректируются. Процесс повторяется, пока не будет достигнут приемлемый результат, фиксируемый в общедоступном для понимания виде, например в виде чертежей.

4 Техническая документация

Техническую документацию в целом можно представить в виде многоуровневой пирамиды знаний. На верхнем уровне – федеральные законы и постановления правительства; ниже – отраслевые стандарты, нормы и правила; ещё ниже – типовые технические решения. Каждый нижележащий уровень является конкретизацией вышележащего. Например, Феде-

ральный закон № 384-ФЗ [10] содержит общие требования безопасности зданий и сооружений. Свод правил [11] содержит требования к ограждающим конструкциям зданий. В первых же строках документа указывается, что он разработан в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ. Обычной практикой производителей конструкций и материалов является выпуск альбомов технических решений, содержащих номенклатуру изделий и типовые варианты их применения. Как правило, альбомы содержат ссылки на нормативные документы, служащие гарантией качества и безопасности производимой продукции. Например, альбомы технических решений фасадных систем содержат ссылки на [11].

Рабочие проекты располагаются в основании пирамиды знаний и являются последней ступенью конкретизации перед осуществлением. Все виды документов, начиная от правилительственных постановлений и заканчивая детализированными чертежами рабочих проектов, соответствуют одному общему определению – иллюстрированный (алфавитно-пиктографический) текст.

Единая сущность подразумевает единый формат хранения. Фундаментальное требование к формату – ориентация на человеческое восприятие. Единственный надёжный способ предотвратить искажённое воспроизведение документа – сохранить его в растровом PDF формате⁴.

Иллюстрированный текст, записанный в растровом формате, традиционно рассматривается как неструктурированная информация, ориентированная на восприятие только человеком. Прогресс в области машинного распознавания образов и обработки языков делают такую точку зрения устаревшей. Имеется возможность увеличить машинную понимаемость иллюстрированного текста с помощью семантической разметки растрового изображения².

Концепция вычислимых знаний сводится к обработке языка, машинному переводу естественно-языкового текста на низкоуровневый (исполняемый) машинный язык. Как работает машинное понимание, можно показать на примере интерпретации чертежей. Последовательность операций может быть следующей.

- 1) загрузка растрового изображения.
- 2) вычленение (распознавание) алфавитных и пиктографических фрагментов.
- 3) преобразование растровых фрагментов в графические примитивы: текст, линия, полилиния, размер, выноски и т.п.
- 4) определение семантической роли примитивов: граница вида, название вида, координатная ось, имя координатной оси, конструктивный тип объекта и т.п.
- 5) связывание размерных примитивов с узловыми точками геометрических примитивов, определение точных координат узловых точек.

На этом этапе из неточного растрового изображения получается геометрически точный векторный чертеж. Процедуру «понимания» можно продолжить, получив в итоге список низкоуровневых команд построения 3D модели. Программа машинной интерпретации точного векторного чертежа и построения на её основе трёхмерной модели разработана автором статьи в 2012 г. (см. 3д-интерпретатор строительных чертежей – <http://3d-int.ru>).

В свете сказанного в программе подготовки инженеров целесообразно предусмотреть изучение следующих вопросов.

Сотрудничество и его основы: знания, понимание и объяснение [12]; концептуализация и иерархическая декомпозиция [13]; знаковые системы и роль естественных языков²; стандартизация языка; форматы хранения и распространения знаний².

Источники знаний: учебники, справочники, нормативные документы, типовые проекты, архивные документы [14].

⁴ ГОСТ Р 2.531-2023. Единая система конструкторской документации. Электронная конструкторская документация. Виды преобразований. Дата введения 2024—03—01. Прим. ред.

Исследования в процессе проектирования с целью получения недостающих знаний: компьютерное моделирование; результаты моделирования в виде данных; обработка данных и преобразование их в знания.

Алгоритмы составления и чтения чертежей²: текстовая, естественно-языковая сущность чертежей; пиктограммы и текст на чертежах; параметризация; ссылки на компьютерные и производственные технологии.

Машинная обработка знаний: машинопонимаемые тексты, содержащие знания²; машинная обработка языков [15]; поиск релевантных знаний [14]; системы поддержки принятия решений [16]; автоматическая проверка чертежей; машинная интерпретация чертежей [17].

Заключение

Предложенный подход к решению когнитивных проблем освоения графических дисциплин при подготовке инженеров означает «перезагрузку» графических дисциплин, изменение подхода к преподаванию предмета, увеличение роли и ответственности соответствующих кафедр.

Список источников

- [1] **Вертинская Н.Д.** Решения задач в методах моделирования и конструирования начертательной геометрии // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 3. С.5-25.
- [2] **Усатая Т.Д., Дерябина Л.В., Решетникова Е.С.** Современные подходы к проектированию изделий в процессе обучения студентов компьютерной графике // Геометрия и графика. 2019. № 1. С.74-82.
- [3] **Четверухин Н.Ф и др.** Начертательная геометрия. М.: Высшая школа, 1963. С.9-11.
- [4] **Болбат О.Б., Шабалина Н.К.** Проблемы высшего технического образования в области дисциплин графического цикла // Проблемы современного педагогического образования. 2018. №61-2. С.87-90.
- [5] **Ханов Г.В., Федотова Н.В.** Проблемы формирования графической компетентности у студентов с заниженным уровнем подготовки по графическим дисциплинам // Фундаментальные исследования. 2014. № 5-2. С.374-378.
- [6] **Чопова Н.В.** Основные недостатки в преподавании инженерно-графических дисциплин в техническом вузе и методы их устранения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2014. Т.20. С.2691–2695.
- [7] **Friedman C., Flynn A.** Computable knowledge: An imperative for Learning Health Systems // Learning Health Systems. Wiley, 2019. DOI: 10.1002/lrh2.10203.
- [8] **Wyatt J., Scott P.** Computable knowledge is the enemy of disease // BMJ Health & Care Informatics, 2020. DOI: 10.1136/bmjhci-2020-100200.
- [9] ГОСТ 21.201-2011. Условные графические изображения элементов зданий, сооружений и конструкций.
- [10] Федеральный закон № 384-ФЗ. "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
- [11] СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Дата введения 2013-07-01.
- [12] **Кузнецов О.П.** Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. М.: Институт системного анализа РАН, 2012. №. 4. С.95-105.
- [13] **Раков В.И.** Системный анализ (начальные понятия): учебное пособие. М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. 239 с.
- [14] **Кучуганов А.В., Касимов Д.Р.** Графический поиск чертежей в хранилищах данных // Прикладная информатика. 2012. № 2(38). С.84-92.
- [15] **Белов С.Д. и др.** Обзор методов автоматической обработки текстов на естественном языке // Системный анализ в науке и образовании. 2020. № 3. С.8-22. DOI 10.37005/2071-9612-2020-3-8-22.
- [16] **Борзых Н.Ю.** Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91-7. С.87-90. DOI 10.18411/trnio-11-2022-350.
- [17] **Ablameyko S., Pridmore T.** Machine interpretation of line drawing images: technical drawings, maps and diagrams. London: Springer, 2000. 284 p.

Сведения об авторе

Ямпольский Александр Андреевич, 1953 г. рождения. Окончил Тульский политехнический институт в 1977 г., инженер-строитель с 40-летним стажем, автор статей по теории и практике строительного проектирования, разработчик программ машинной интерпретации чертежей. Работал в Институте «Тульский Промстройпроект» и других проектных организациях в роли расчётчика строительных конструкций жилых и промышленных объектов. Область интересов – машинная интерпретация чертежей. yamp8047@gmail.com.



Поступила в редакцию 17.05.2024, после рецензирования 26.07.24. Принята к публикации 29.07.24.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-335-343

Cognitive challenges in teaching graphic disciplines to engineering specialists

© 2024, A.A. Yampolskiy

An individual researcher, Tula, Russia

Abstract

Cognitive challenges in mastering graphic disciplines are attributed to the introduction of computer technologies. Graphics departments are reorienting the educational process towards teaching modern methods of computer 3D modeling. Opinions have been expressed about the secondary nature or even the rejection of drawings. This article proposes viewing drawings as a type of text. As a justification for the "linguistic turn", the unique role of natural language as a means of updating and disseminating knowledge is noted. The similarity of the main properties of drawings with those of texts is traced. These properties include the discreteness of text elements, conventionality, parametric style of describing objects, conceptuality, hierarchical structuring, and contextuality of perception. It is argued that the determining factor for the feasibility of drawings is not the geometric accuracy of images, but linguistic accuracy, which allows one to "understand" the drawing and establish a connection between the contents of the drawing and the technologies of producing an object or its computer model. The exceptional role of drawings as the language of technology is substantiated, and the possibility of replacing drawings with 3D modeling is rejected. The view of project documentation as an integral part of a single pyramid of knowledge is established. The role of the concept of computable knowledge in the effective use of knowledge is emphasized. A list of questions that can be included in the content of teaching the "language of technology" is provided.

Keywords: *cognitive challenges, drawing, 3D modeling, computable knowledge, language of technology, technical documentation, project.*

For citation: *Yampolsky A.A. Cognitive challenges in teaching graphic disciplines to engineering specialists [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024;14(3): 335-343. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-335-343.*

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

List of figures

Figure 1 - Production drawing of reinforcing mesh

Figure 2 - Pictograms on the drawing

Figure 3 - Conceptualization of the drawing

Figure 4 - Structuring pictographic and traditional texts

Figure 5 - 3D model of the reinforcement cage of a monolithic building

Figure 6 - Floor reinforcement scheme

References

- [1] **Vertinskaya ND.** Solving problems in descriptive geometry methods of modeling and designing [In Russian]. Scientific Review. Technical science. 2016; 3: 5-25.
- [2] **Usataya TD., Deryabina LV., Reshetnikova ES.** Modern approaches to product design in the process of teaching computer graphics to students [In Russian]. Geometry and Graphics. 2019; 1: 74-82.
- [3] **Chetveruhin NF., etc.** Descriptive geometry [In Russian]. Moscow: Higher school, 1963. P.9-11.
- [4] **Bolbat O.B., Shabalina N.K.** Problems of higher technical education in the field of disciplines of the graphic cycle // Problems of modern pedagogical education. 2018. No. 61-2. P.87-90.
- [5] **Khanov G.V., Fedotova N.V.** Problems of developing graphic competence among students with a low level of training in graphic disciplines // Fundamental Research. 2014. No. 5-2. P.374-378.
- [6] **Chopova N.V.** The main shortcomings in the teaching of engineering and graphic disciplines at a technical university and methods for eliminating them // Scientific and methodological electronic journal "Concept". 2014. T.20. pp.2691–2695.
- [7] **Friedman C., Flynn A.** Computable knowledge: An imperative for Learning Health Systems. Learning Health Systems. Wiley, 2019. DOI: 10.1002/lrh2.10203.
- [8] **Wyatt J., Scott P.** Computable knowledge is the enemy of disease. BMJ Health & Care Informatics, 2020. DOI: 10.1136/bmjhci-2020-100200.
- [9] GOST 21.201-2011. Conventional graphic images of elements of buildings, structures and structures.
- [10] Federal law № 384-ФЗ. " Technical regulations on the safety of buildings and structures".
- [11] SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings.
- [12] **Kuznetsov OP.** Cognitive semantics and artificial intelligence [In Russian]. Artificial intelligence and decision making. Moscow: Institute of System Analysis RAS, 2012. 4: 95-105.
- [13] **Rakov VI.** System analysis (initial concepts): textbook [In Russian]. Moscow: Publishing House of the Academy of Natural Sciences, 2012. 239 p.
- [14] **Kuchuganov AV., Kasimov DR.** Graphical search for drawings in data warehouses [In Russian]. Applied Informatics. 2012. 2(38): 84-92.
- [15] **Belov SD., etc.** Review of methods for automatic processing of texts in natural language [In Russian]. System analysis in science and education. 2020. 3: 8-22. DOI 10.37005/2071-9612-2020-3-8-22.
- [16] **Borzyh NYu.** Analysis of decision support systems, their classifications and decision-making methods [In Russian]. Trends in the development of science and education. 2022. 91-7: 87-90. DOI 10.18411/trnio-11-2022-350.
- [17] **Ablameyko S., Pridmore T.** Machine interpretation of line drawing images: technical drawings, maps and diagrams. London: Springer, 2000. 284 p.

About the author

Alexandr Andreevich Yampolskiy (b. 1953) graduated from the Tula Polytechnic Institute (Tula, USSR) in 1977, civil engineer with 40 years of experience, he is the author of articles on the theory and practice of construction design, and a developer of programs for machine interpretation of drawings. He worked at the Tula Promstroyproekt Institute and other design organizations as a structural analyst of residential and industrial facilities. The area of interest is machine interpretation of drawings. yamp8047@gmail.com.

Received May 17, 2024. Revised July 26, 2024. Accepted July 29, 2024.

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.422.8

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-344-354



Информационная система на основе фармацевтической онтологии

© 2024, В.С. Мошкин✉, И.А. Щукарев

Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ), Ульяновск, Россия

Аннотация

Для автоматизации рабочих процессов аптечного пункта предлагается информационная система на основе фармацевтической онтологии. Сущностями в разработанной онтологии являются лекарственные средства, симптомы и заболевания. В качестве источников описаний отношений между сущностями используются инструкции к лекарственным средствам, препаратам и их аналогам. Основные свойства препарата описываются его характеристиками: название, срок годности, фармакологическая группа, место хранения, форма отпуска, производитель, цена и др. Особенности спроектированной информационной системы являются: возможность поиска лекарственных средств и препаратов из числа имеющихся в аптеке и внесённых в онтологию по симптому или заболеванию; ограничение продажи лекарственных средств, имеющих противопоказания у покупателя. Функционирование большинства модулей информационной системы осуществляется с использованием машины логического вывода онтологии. Для каждого конкретного процесса проводится автоматическая проверка согласованности ограничений в онтологии с учётом специфики хранения, отпуска и продажи фармацевтических препаратов. К особенностям разработанной информационной системы можно отнести её способность осуществлять семантический поиск по объектам фармацевтической онтологии.

Ключевые слова: информационная система, семантический поиск, аптека, онтология, база знаний, симптом, заболевание, лекарственное средство.

Цитирование: Мошкин В.С., Щукарев И.А. Информационная система на основе фармацевтической онтологии // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.344-354. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-344-354.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №23-71-01101 «Разработка моделей и методов повышения производительности хранилищ данных посредством предиктивного анализа темпоральной диагностической информации».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В настоящее время широко используются информационные системы (ИС), автоматизирующие разнообразные бизнес-процессы [1-3]. ИС, основанные на базах знаний (БЗ), позволяют в деятельности аптек экономить время фармацевта при выполнении ежедневных рутинных операций, регулировать большинство рабочих процессов в фармацевтической организации, сократить количество ошибок, связанных с человеческим фактором. Такие задачи, как работа с поставщиками, контроль остатков препаратов, заказ товара, продажа лекарственных средств (ЛС) и др. выполняются практически одновременно, поэтому управлять работой фармацевтической организации без ИС трудно. Сложности могут возникнуть и с номенклатурой, т.к. ЛС могут выпускаться в различных дозировках и формах, предназначаться для различных категорий пользователей. Для автоматизации процессов требуется

специальное программное обеспечение, которое учитывает специфику фармацевтической отрасли, например, «1С: Розница 8. Аптека»¹, «М-АПТЕКА плюс»², «F3 TAIL»³ и др. [4, 5].

В статье предлагается подход к построению ИС с использованием БЗ о лекарственных препаратах и товарах аптечного ассортимента (ТАА) в виде предметной онтологии. Решается задача автоматизации большинства ежедневных операций, выполняемых фармацевтом в аптечном пункте, таких как работа с ценами и рекламными акциями, консультирование покупателей, контроль остатков товара и т.д. В разработанной ИС реализован алгоритм семантического поиска по объектам фармацевтической онтологии, что позволяет с помощью графического интерфейса с подсказками вести поиск ЛС и их аналогов по симптомам или описаниям болезней, вносить необходимые изменения в данные о группах товаров, а также ограничивать продажу ЛС на основе указанных противопоказаний.

1 Онтологии предметных областей (Про)

Онтологию можно построить как некую иерархическую структуру классов, связанных понятиями, представив её в графическом виде. Данная связь реализуется с помощью триплета: субъект – отношение – объект [6, 7].

На основе онтологий создаются БЗ, которые являются необходимыми составляющими ИС [8]. Так, в работе [9] предложена ИС, основанная на онтологии взаимодействия лекарств, которая помогает врачам и фармацевтам учитывать побочные эффекты. В ней заложены семантические отношения между заболеваниями, ЛС, механизмами действия, физиологическими эффектами, дозами, способами введения и т.д. Такая ИС может быть полезна фармацевтам при учёте взаимодействия лекарств на организм пациента. В статье [10] описаны разработанная на основе онтологий ИС и её внедрение в клиническую практику. ИС генерирует оповещения при выявлении ошибок в назначении лекарств согласно данным пациента. В работе [11] рассматривается система электронного здравоохранения на основе онтологии ПроО. ИС предоставляет информацию о ближайшей больнице, лучшей машине скорой помощи, лаборатории, сведения о соответствующем отделении или враче путём сбора информации от пользователей и т.д.

В данной статье ИС «*UlPharma*» разработана на основе фармацевтической онтологии, построенной средствами библиотеки *owlready2*⁴ языка *Python*⁵. Редактор онтологий *Protégé*⁶ позволяет представить её в виде графа, проверить иерархию онтологии, а также выявить неточности, связанные, например, с названиями ЛС. На рисунке 1 показан фрагмент фармацевтической онтологии в виде графа, описывающего классы и их отношения. Некоторые экземпляры (а) и свойства (б, в) фармацевтической онтологии (конкретные препараты, болезни и симптомы) приведены на рисунке 2. При составлении данной онтологии указывались два конкретных свойства (рисунки 2б и 2в): *Domain* – это набор классов, к экземплярам которых применимо данное свойство; *Range* – это тип значений, которые они принимают.

Экземпляры классов взаимодействуют друг с другом через свойства объектов (*object_property*, см. рисунок 2б). Свойства экземпляров, значениями которых являются число, дата или строка, задаются с помощью *data_properties* (рисунок 2в).

¹ 1С: Розница 8. Аптека – отраслевое решение для автоматизации аптек и аптечных пунктов. <https://solutions.1c.ru/catalog/drugstore>.

² Программный комплекс «М-АПТЕКА плюс» предназначен для автоматизации аптек и аптечных сетей. <https://m-apteka.com/>.

³ F3 TAIL – программа для автоматизации аптек и розничной торговли. <https://www.spargo.ru/app/f3tail/>.

⁴ *owlready2* – пакет для онтологического программирования на *Python*. <https://owlready2.readthedocs.io/en/v0.42/>.

⁵ *Python* – высокоуровневый язык программирования. <https://www.python.org/>.

⁶ *Protégé* – свободный, открытый редактор онтологий и фреймворк для построения баз знаний. <https://protege.stanford.edu/>.

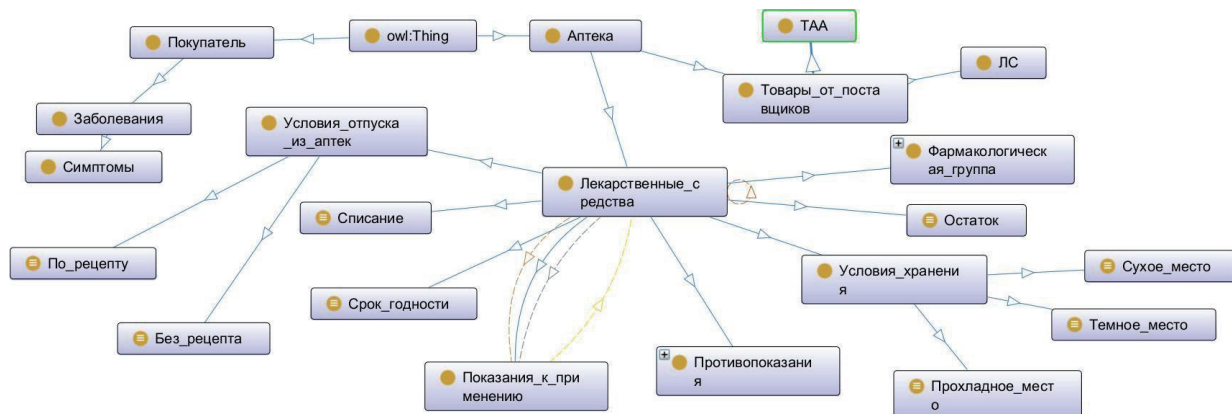
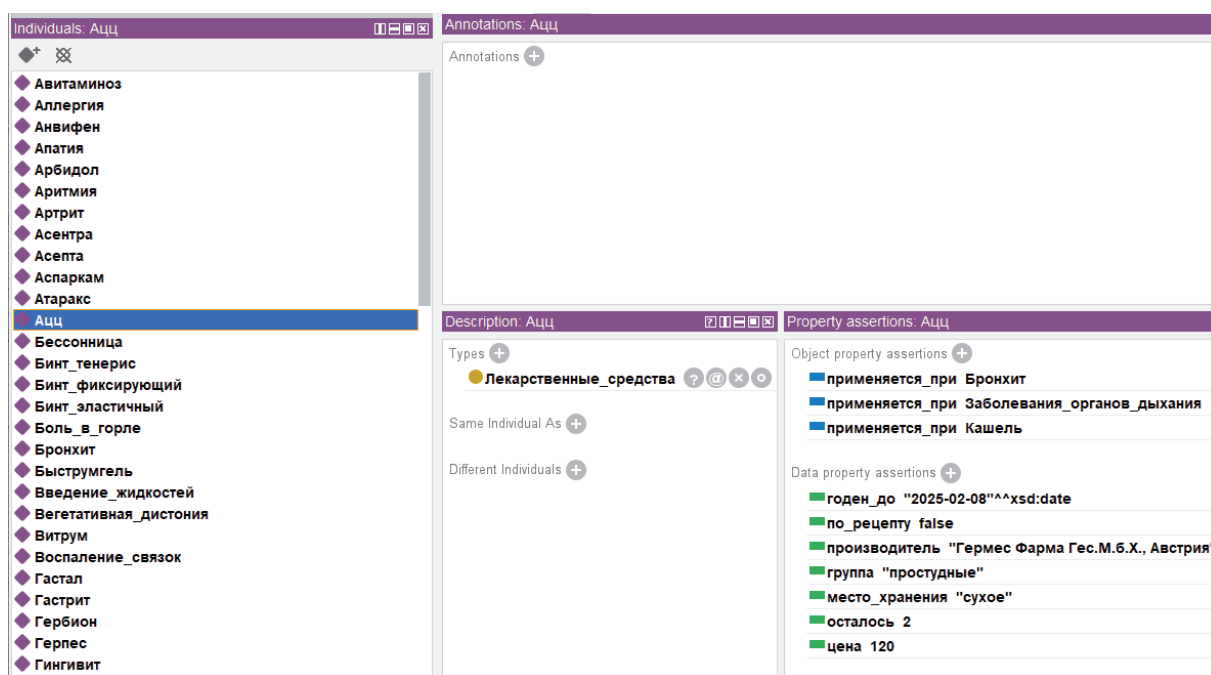
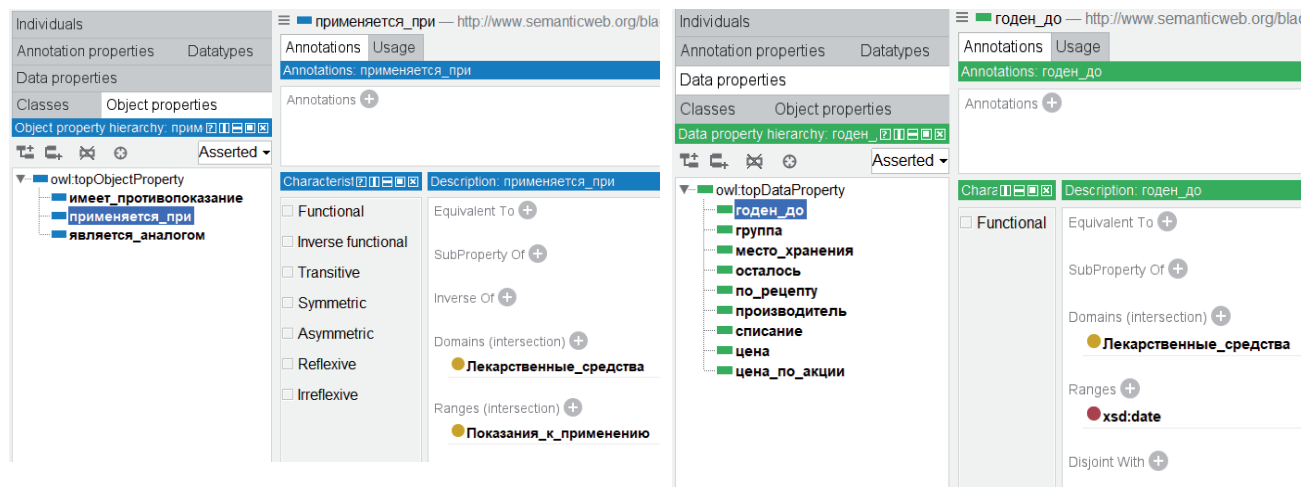


Рисунок 1 – Фрагмент фармацевтической онтологии в виде графа



а)



б)

в)

Рисунок 2 – Некоторые экземпляры (а) и свойства (б, в) фармацевтической онтологии

В ИС использованы следующие особенности онтологии:

- в класс «Остаток» после запуска машины логического вывода (МЛВ), согласно правилу ((*осталось some xsd:integer*[> 0]) and (*осталось some xsd:integer*[<= 2])), попадают экземпляры (ЛС и ТАА), которых мало или которые закончились;
- в класс «Срок годности» после запуска МЛВ, согласно правилу (ЛС and (годен_до *some xsd:date*[<= "2024-06-10"^^*xsd:date*])), попадают ЛС и ТАА срок годности которых заканчивается в ближайшие два месяца, начиная с даты обращения;
- в класс «Списание» после запуска МЛВ попадают ЛС и ТАА, которые были забракованы вследствие нарушения целостности упаковки. Все ЛС разделены по соответствующим фармакологическим группам согласно свойствам экземпляров (тип: *str*);
- после запуска МЛВ, с учётом правил для эквивалентности классов, происходит наполнение экземплярами (ЛС и ТАА) классов условия хранения (сухое, тёмное или прохладное место) и условия отпуска из аптек (без рецепта и по рецепту).

В ИС предусмотрено своевременное пополнение новых наименований ЛС и ТАА, которые можно добавить через соответствующее меню программы.

2 Выбор программных средств для ИС

Наиболее известными средствами для создания и редактирования онтологий являются *Protégé*, *Fluent Editor* и библиотека *Owlready2* для языка программирования *Python* [12-14]. *Protégé* поддерживает язык описания онтологий *OWL* и позволяет генерировать *HTML*-документы, которые отражают структуру онтологии, а сложные ограничения можно реализовать с помощью *Manchester Syntax* [15]. Использование языка программирования *Python* удобно в связи с наличием возможности работы как с онтологиями (библиотека *Owlready2*), так и с графикой (библиотека *tkinter*⁷) [16, 17].

Для конечного пользователя является важным наличие русского языка в программе. Поэтому создание русскоязычных онтологий, которые могут быть положены в основу русскоязычных ИС, является актуальной задачей [18].

Для создания ИС выбрана интегрированная среда разработки *PyCharm*⁸, которая предоставляет пользователю комплекс средств для написания кода с возможностью выявления ошибок в нём и визуальный отладчик.

Создание ИС на основе фармацевтической онтологии включает в т.ч. разработку структуры приложения и его стилистического оформления. При разработке графического интерфейса, с которым пользователь может взаимодействовать, использована библиотека *tkinter*.

3 Функциональность разработанной ИС

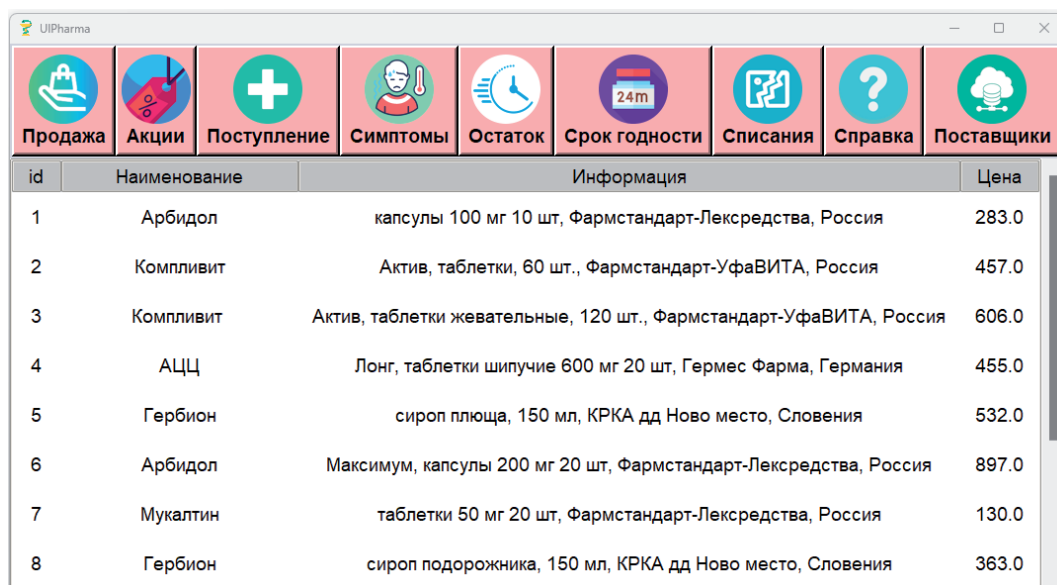
Главное окно разработанной ИС «*UlPharma*» для автоматизации работы аптеки на основе фармацевтической онтологии состоит из девяти основных вкладок (рисунок 3).

Каждая вкладка (раздел) имеет заголовок с описанием выполняемой функции.

В разделе «*Продажа*» содержится текстовое поле, которое предназначено для внесения названия ЛС, и поле для занесения необходимого количества для продажи (рисунок 4). В нижней части окна раздела расположены функциональные кнопки. Кнопка «*Цена*» выводит на экран цену интересующего наименования и цену по акции, если такая имеется на соответствующую фармакологическую группу. Кнопкой «*Продажа*» выводятся сведения о реализации потребителю выбранного наименования и соответствующего ему количества товара. Активация этой кнопки происходит уменьшение запасов выбранного товара в аптеке. Кнопка «*Очистить*» служит для очистки всех полей ввода от находящейся в них информации на случай неправильных или ошибочно введенных данных. Кнопкой «*Закрыть*» закрывается текущая вкладка.

⁷ *Tkinter* – стандартная библиотека *Python* для создания приложений с графическим интерфейсом. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>.

⁸ *PyCharm* – кроссплатформенная интегрированная среда разработки. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/>.



id	Наименование	Информация	Цена
1	Арбидол	капсулы 100 мг 10 шт, Фармстандарт-Лексредства, Россия	283.0
2	Компливит	Актив, таблетки, 60 шт., Фармстандарт-УфаВИТА, Россия	457.0
3	Компливит	Актив, таблетки жевательные, 120 шт., Фармстандарт-УфаВИТА, Россия	606.0
4	АЦЦ	Лонг, таблетки шипучие 600 мг 20 шт, Гермес Фарма, Германия	455.0
5	Гербион	сироп плюща, 150 мл, КРКА дд Ново место, Словения	532.0
6	Арбидол	Максимум, капсулы 200 мг 20 шт, Фармстандарт-Лексредства, Россия	897.0
7	Мукалтин	таблетки 50 мг 20 шт, Фармстандарт-Лексредства, Россия	130.0
8	Гербион	сироп подорожника, 150 мл, КРКА дд Ново место, Словения	363.0

Рисунок 3 – Главное окно информационной системы *UlPharma*

Одним из способов привлечения клиентов является проведение акций или скидок на выбранные группы товаров [19]. Раздел «Акции» предназначен сведений об акциях на выбранные группы (категории) товаров (см. рисунок 5). В данном разделе в поле вносится необходимый размер скидки, а из раскрывающегося списка выбирается та фармакологическая группа, к которой применяется скидка. Кнопки «Отменить» и «Закрыть» служат для удаления информации из поля ввода и закрытия окна. Активация скидки происходит с применением правил, являющихся импликацией между предпосылкой и следствием. Например, при активации определённой скидки для фармакологической группы «Простудные» действует следующее правило:

Apteka.rule = Apteka.Imp().set_as_rule("Простудные(?p), цена(?p, ?c), divide(?div, ?c, 100), multiply(?mul, ?div, 0), subtract(?sub, ?c, ?mul) -> цена_по_акции(?p, ?sub)"). Применение данного правила происходит после запуска МЛВ для онтологии, т.е. у всех ЛС, которые относятся к фармакологической группе простудные, цена уменьшается на 10%. С использованием подобных правил можно вводить ограничения на цены большого числа наименований, отвечающих определённым условиям.

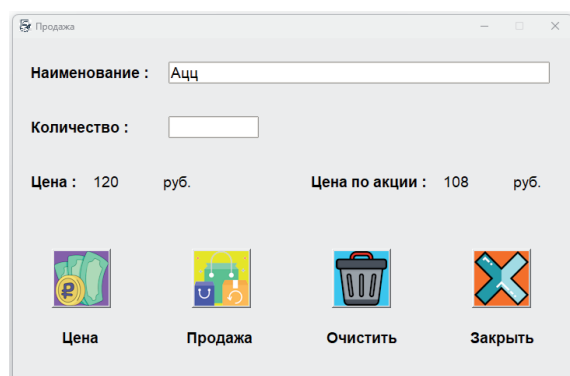


Рисунок 4 – Раздел «Продажа»

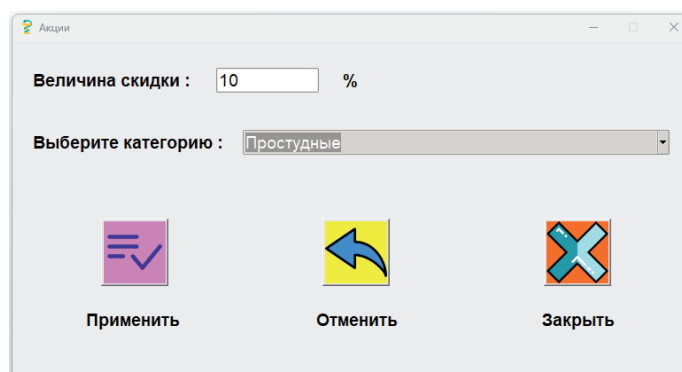


Рисунок 5 – Раздел «Акции»

Раздел «Поступление» связан с добавлением в БЗ нового наименования и его характеристик (рисунок 6). На вкладке есть несколько текстовых полей, в которые можно занести название ЛС, его фармакологическую группу, условия отпуска, место хранения, название фирмы-производителя, цену на товар, срок годности и количество. Некоторые позиции представлены раскрывающимися списками (например, из условий хранения можно выбрать сухое, тёмное или прохладное место, а для условий отпуска - без рецепта и по рецепту).

Раздел «Симптомы» позволяет получать доступ к ЛС и их аналогам по введённому симптому или заболеванию (рисунок 7). Внутри вкладки находится поле для ввода текстовой информации и функциональные кнопки поиска, очистки полей и закрытия активного окна. Поиск по симптомам осуществляется с помощью БЗ и МЛВ, что позволяет найти доступные в фармацевтической онтологии болезни и симптомы, которые входят в

показания к применению имеющихся в наличии ЛС. Если перед продажей необходимо отобрать препараты с учётом их противопоказаний [20], то используется кнопка «Противопоказание» (например, при кашле можно применять Ацц, Гербион или Мукалтин; если выбрать противопоказание, связанное с язвенной болезнью желудка, то останется один препарат, соответствующий этим критериям отбора – Гербион).

В разделе «Остаток» (рисунок 8а) можно получить информацию о товарах, которых мало или которые закончились, а в разделе «Срок годности» (рисунок 8б) - информацию о товарах, срок годности которых заканчивается в ближайшее время. Процесс осуществляется с помощью МЛВ библиотеки *Owlready2* фармацевтической онтологии и модуля *datetime Python*⁹, после запуска которого в определённую группу попадают товары, оставшиеся в количествах один, два или закончившиеся.

В разделе «Списание» можно получить информацию о препаратах и их количестве, которые были забракованы и списаны, например, вследствие нарушения герметичности или целостности упаковки или истекшего срока годности (рисунок 8в).

В разделе «Справка» можно получить необходимую информацию об интересующем препарате (рисунок 9). Данная вкладка содержит текстовое поле, предназначенное для ввода названия препарата, и поля для вывода информации о препарате и его аналогах.

В раздел «Поставщики» (рисунок 10) вносится информация о поставщиках и фирмах-производителях ЛС, по которой можно сравнивать цены у различных поставщиков.

Рисунок 6 – Раздел «Поступление»

Рисунок 7 – Раздел «Симптомы»

Рисунок 8 – Разделы «Остаток» (а), «Срок годности» (б) и «Списание» (в)

⁹ Модуль *datetime* предоставляет инструменты для обработки времени и даты разными способами в *Python*. <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>.

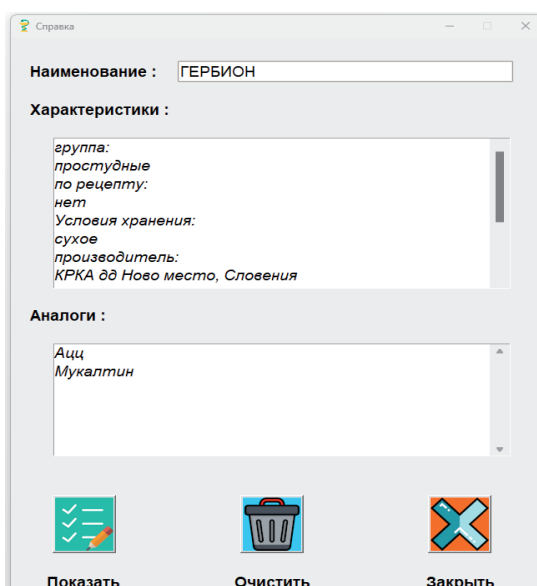


Рисунок 9 – Пример запроса в разделе «Справка»

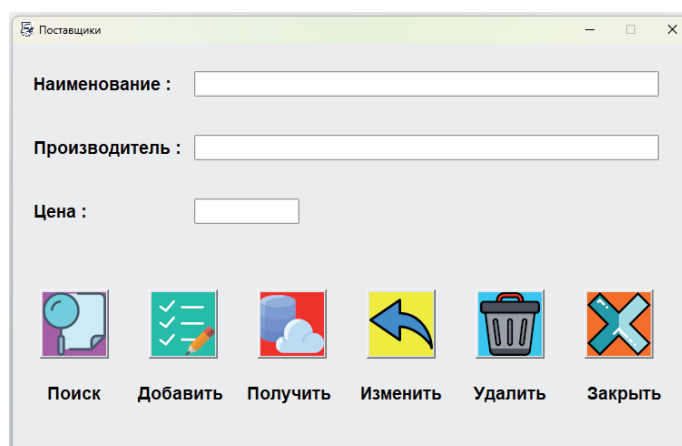


Рисунок 10 – Раздел «Поставщики»

4 Сравнение с аналогами

В данной ПрО разработано и используется различное программное обеспечение. В таблице 1 приведены данные для сравнительного анализа наиболее известных программных продуктов для автоматизации работы аптек и аптечных пунктов с ИС *UIPharma*.

Таблица 1 – Основные характеристики программных продуктов для автоматизации работы аптек

Характеристики и функции	Название программы				
	1С: Розница 8. Аптека	F3 TAIL	Эприка ¹⁰	М Аптека плюс	UIPharma
Стоимость, руб.	26500	19800	18000	25000	0
Учёт лекарственных средств	+	+	+	+	+
Формирование заказа у поставщиков	+	+	+	+	+
Инвентаризация остатков	+	+	+	+	+
Работа с ценами	+	+	+	+	+
Поиск аналогов лекарственных средств	+	+	+	+	+
Работа со справочником	+	–	–	–	+
Учёт наличия противопоказаний	–	–	–	–	+
Проверка фармацевтической онтологии на непротиворечивость	–	–	–	–	+

В основе предлагаемой ИС лежит *OWL*-онтология, что позволяет добиться согласованности и непротиворечивости данных. Под согласованностью понимается такое состояние данных, при котором на их основе обеспечивается корректный логический вывод. Непротиворечивость означает, что в ИС отсутствуют данные, противоречащие друг другу. Нарушение непротиворечивости данных при игнорировании предупреждения об ошибке может, например, привести к тому, что из определённых в онтологии аксиом будут выведены неправильные утверждения, имеющие негативные последствия. В онтологиях предусмотрены автоматический поиск ошибок и выявление новых отношений.

¹⁰ Эприка – совместный продукт национального фармдистрибьютора АО ЦВ ПРОТЕК и лидера отечественного рынка автоматизации товарно-складского учета аптек «Спарго Технологии». <https://protek.ru/partners/servisy-dlya-aptek/eprika/>.

ИС *UlPharma* является автономным бесплатным приложением, способным запускаться с USB-накопителя. Преимуществом предлагаемой ИС перед SaaS¹¹-системами, к которым относится «Киберис¹²», является возможность самостоятельной актуализации БЗ ИС при отсутствии у пользователя компетенций в области программирования путём внесения данных о новых препаратах, болезнях, диагнозах и др. ИС *UlPharma* позволяет ограничивать продажу ЛС на основе указанных противопоказаний непосредственно на этапе продажи, минуя поиск соответствующей информации по каждому наименованию в справочнике. ИС содержит только ЛС, прошедшие государственную регистрацию [21]. Предлагаемая онтология может использоваться в русскоязычных ИС без применения дополнительных средств перевода и проверки на наличие ЛС в госреестре.

Из анализа представленных в статье ИС видно, что каждая ИС является многофункциональной и предназначена для нескольких сфер деятельности аптечной организации, однако в этих ИС возможность ограничения отпуска ЛС и ТАА с учётом указанных противопоказаний на этапе продажи отсутствует.

Заключение

В результате исследования разработана фармацевтическая онтология и заполнена БЗ на основе этой модели, которая использовалась в специализированной ИС *UlPharma*. БЗ выполнена на русском языке, имеет открытый доступ и содержит только препараты из государственного реестра ЛС РФ.

Разработанная ИС *UlPharma* с использованием созданной БЗ на основе фармацевтической онтологии может применяться для автоматизации основных процессов в аптечной организации. Отличительной особенностью данной ИС является возможность семантического поиска по объектам онтологии и ограничения на отпуск ЛС, на основе указанных противопоказаний с помощью определяемых классов и аксиом онтологии, непосредственно на этапе продажи.

Список источников

- [1] *Аветисян Т.В., Львович Я.Е. Преображенский А.П.* Особенности информационных систем на предприятиях // Вопросы науки. 2023. № 2. С.8-15.
- [2] *Николаева И.М., Захарова И.Н.* Сравнительный анализ систем автоматизации процессов управления персоналом по критерию функциональной полноты // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 6. С.1321-1326.
- [3] *Чистяков В.В., Ромашикова О.Н.* Анализ информационных систем, используемых для управления в сфере фармации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019. № 5. С.105-108.
- [4] *Исаев М.И., Алдамов А.И.* Проектирование информационной системы для автоматизации аптечной среды // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. №11. С.243-248.
- [5] *Ауесбек Д.А., Абдрахманов Р.Б.* Разработка информационно-справочной системы аптеки // Перспективы науки. 2021. № 6. С.21-24.
- [6] *Антонов А.А., Быков А.Н., Чернышев С.А.* Обзор существующих способов формирования онтологии предметной области при моделировании // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2021. № 4. С.12-17.

¹¹ SaaS (software as a service — программное обеспечение как услуга) — модель обслуживания, при которой подписчикам предоставляется программное обеспечение, полностью обслуживаемое провайдером.

¹² Киберис - медицинский ассистент на основе искусственного интеллекта для диагностики и персонифицированной терапии, подбора аналогов лекарств, проверки безопасности назначений и автозаполнения медкарты. <https://kiberis.ru/>.

- [7] **Sartabanova, Zh.E., Dimitrov V.T., Sarsimbaeva S.M.** Applying the knowledge base of CWE weaknesses in software design // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. 2020. Vol. 108(4). P.72-80. DOI: 10.26577/JMMCS.2020.v108.i4.06.
- [8] **Khaimuldin A., Mukatayev T., Assanova N.** Ontology construction in rule-based expert systems // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. №. 6. С.1180-1191.
- [9] **Naz. T., Akhtar M., Shahzad S.K., Maria Fasli M., Iqbal M.W., Naqvi M.R.** Ontology-driven advanced drug-drug interaction // Computers & Electrical Engineering. 2020. Vol. 86(5). P.106695. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2020.106695.
- [10] **Calvo-Cidoncha E., Camacho-Hernando C., Feu F.** OntoPharma: ontology based clinical decision support system to reduce medication prescribing errors // BMC Med Inform Decis Mak. 2022. Vol.22. 12 p. DOI: 10.1186/s12911-022-01979-3.
- [11] **Subbulakshmi S., Krishnan A., Sreereshmi R.** Contextual Aware Dynamic Healthcare Service Composition Based on Semantic Web Ontology // 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (Kannur, India). 2019. P.1474-1479. DOI: 10.1109/ICICT46008.2019.8993303.
- [12] **Горобец Е.А., Диязитдинова А.Р.** Применение онтологического подхода при проектировании медицинского мобильного приложения // Инфокоммуникационные технологии. 2021. № 2. С.224-231.
- [13] **Weichbroth P.** Fluent Editor and Controlled Natural Language in Ontology Development // International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2019. Vol.28(4). P.1940007. DOI: 10.1142/S0218213019400074.
- [14] **Иванов П.И., Мышкина И.Ю., Грудцына Л.Ю.** Обзор библиотеки Owlready2 для работы с онтологиями на языке Python // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 12. С.139-141.
- [15] **Ovcinnikova J.** Ontology export patterns in OWLGrEd Editor // Baltic Journal of Modern Computing. 2020. Vol.8(3). P.444-460. DOI: 10.22364/bjmc.2020.8.3.04.
- [16] **Dli M.I., Vlasova E.A., Sokolov A.M., Morgunova E.V.** Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language // Journal of Applied Informatics. 2021. Vol.16(1). P.22-31. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-1-22-31.
- [17] **Jean-Baptiste L.** Ontologies With Python: Programming Owl 2.0 Ontologies With Python and Owlready2. NY: Apress, 2020. 344 p.
- [18] **Щукарев И.А.** Особенности работы с русскоязычными онтологиями с помощью библиотеки Owlready2 на языке Python // Программные продукты и системы. 2023. № 2. С.223–227. DOI: 10.15827/0236-235X.142.223-227.
- [19] **Бурдина Е.С., Уткина А.В.** Влияние дисконтных программ на уровень прибыли аптеки // Известия ГГТУ. Медицина, фармация. 2020. № 4. С.78-79.
- [20] **Марцевич С.Ю., Лукина Ю.В., Дранкина О.М.** Основные принципы комбинированной медикаментозной терапии - фокус на межлекарственное взаимодействие // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. № 7. С. 172-178. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-3031.
- [21] **Ковальская Г.Н., Михалевич Е.Н.** Государственный реестр лекарственных средств: межлекарственное взаимодействие // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. 2019. № 3. С. 59-65.

Сведения об авторах



Мошкин Вадим Сергеевич (1990 г. рождения). Окончил УлГТУ в 2012 г., к.т.н. (2017 г.), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Проректор по цифровой трансформации УлГТУ. Вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 150 работ в области интеллектуальной обработки знаний, автоматизации проектирования, построения прикладных интеллектуальных систем. Author ID (RSCI): 762084; Author ID (Scopus): 57190250573; Researcher ID (WoS): L-3578-2016; ORCID: 0000-0002-9258-4909. v.moshkin@ulstu.ru. ✉.



Щукарев Игорь Александрович, 1991 г. рождения. Окончил УлГТУ в 2013 г., к.ф.-м.н. (2017). Доцент кафедры «Информационные технологии и общенаучные дисциплины» УлГТУ. В списке научных трудов более 40 работ. Author ID (РИНЦ): 821520; Author ID (Scopus): 56565459600; Researcher ID (WoS): AАН-6813-2019; ORCID: 0000-0002-8860-8103. blacxpress@gmail.com.

Поступила в редакцию 09.02.2024, после рецензирования 10.07.2024. Принята к публикации 15.07.2024.



Information system based on a pharmaceutical ontology

© 2024, V.S. Moshkin✉, I.A. Shchukarev

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

Abstract

To automate the workflow of a pharmacy, an information system based on a pharmaceutical ontology is proposed. The entities in the developed ontology include drugs, symptoms, and diseases. Instructions for medicines, drugs and their analogues are used as sources to describe relationships between entities. The main properties of each drug are described by its characteristics: name, expiration date, pharmacological group, storage location, dispensing form, manufacturer, price, etc. Key features of the designed information system include the ability to search for medicines and drugs available in the pharmacy and included in the ontology by symptom or disease, and restricting the sale of medicines that have contraindications for the buyer. The functioning of most modules of the information system is carried out using an ontology inference engine. For each specific process, an automatic check of the consistency of restrictions in the ontology is performed, taking into account the specifics of storage, dispensing, and sale of pharmaceuticals. A distinctive feature of the developed information system is its capability to perform semantic searches on pharmaceutical ontology objects.

Keywords: *information system, semantic search, pharmacy, ontology, knowledge base, symptom, disease, medicine.*

For citation: *Moshkin VS, Shchukarev IA. Information system based on a pharmaceutical ontology [In Russian]. Ontology of designing. 2024; 14(3): 344-354. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-344-354.*

Financial Support: This work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-71-01101 “Development of models and methods for increasing the performance of data warehouses through predictive analysis of temporal diagnostic information».

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

List of figures and table

Figure 1 - Pharmaceutical ontology as a graph

Figure 2 - Some instances and properties of a pharmaceutical ontology

Figure 3 - Main window of the UIPharma information system

Figure 4 - Sales

Figure 5 - Promotions

Figure 6 - Arrivals

Figure 7 - Symptoms

Figure 8 - Stock, Expiration date and Deduction sections

Figure 9 - Help

Figure 10 - Suppliers

Table 1 - Comparison of the main characteristics of software products for pharmacy automation

References

- [1] *Avetisyan TV, Lvovich YE. Preobrazhenskii AP.* Features of information systems in enterprises [In Russian]. Science issues. 2023; 2: 8-15.
- [2] *Nikolaeva IM, Zakharova IN.* Comparative analysis of automation systems for personnel management processes according to the criterion of functional completeness [In Russian]. Issues of sustainable development of society. Issues of sustainable development of society. 2022; 6: 1321-1326.
- [3] *Chistyakov VV, Romashkova ON.* Analysis of information systems used for management in the field of pharmacy [In Russian]. Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences. 2019; 5: 105-108.
- [4] *Isaev MI, Aldamov AI.* Design of an information system for automation of the pharmacy environment [In Russian]. Economics: yesterday, today, tomorrow. 2022; 1: 243-248.

- [5] **Auesbek DA, Abdrakhmanov RB.** Development of a pharmacy information and reference system [In Russian]. Prospects for Science. 2021; 6: 21-24.
 - [6] **Antonov AA, Bykov AN, Chernyshev SA.** Review of existing methods for forming a domain ontology during modeling [In Russian]. International Journal of Information Technologies and Energy Efficiency. 2021; 4: 12-17.
 - [7] **Sartabanova ZhE, Dimitrov VT, Sarsimbaeva SM.** Applying the knowledge base of CWE weaknesses in software design. Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. 2020; 108(4): 72-80. DOI: 10.26577/JMMCS.2020.v108.i4.06.
 - [8] **Khaimuldin A, Mukatayev T, Assanova N.** Ontology construction in rule-based expert systems. Issues of sustainable development of society. 2022; 6: 1180-1191.
 - [9] **Naz. T, Akhtar M, Shahzad SK, Maria Fasli M, Iqbal MW, Naqvi MR.** Ontology-driven advanced drug-drug interaction. Computers & Electrical Engineering. 2020; 86: 106695. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2020.106695/
 - [10] **Calvo-Cidoncha E, Camacho-Hernando C, Feu F.** OntoPharma: ontology based clinical decision support system to reduce medication prescribing errors. BMC Med Inform Decis Mak. 2022; 22: 238. DOI: 10.1186/s12911-022-01979-3.
 - [11] **Subbulakshmi S, Krishnan A, Sreereshmi R.** Contextual Aware Dynamic Healthcare Service Composition Based on Semantic Web Ontology. 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (Kannur, India). 2019: 1474-1479. DOI: 10.1109/ICICT46008.2019.8993303.
 - [12] **Gorobets EA, Diyazidinova AR.** Application of an ontological approach to the design of a medical mobile application [In Russian]. Infocommunication technologies. 2021; 2: 224-231.
 - [13] **Weichbroth P.** Fluent Editor and Controlled Natural Language in Ontology Development. International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2019; 28(4): 1940007. DOI: 10.1142/S0218213019400074.
 - [14] **Ivanov PI, Myshkina IU, Grudtsyna LU.** Review of the Owlready2 library for working with ontologies in Python [In Russian]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2022; 12: 139-141.
 - [15] **Ovcinnikova J.** Ontology export patterns in OWLGrEd Editor. Baltic Journal of Modern Computing. 2020; 8(3): 444-460. DOI: 10.22364/bjmc.2020.8.3.04.
 - [16] **Dli MI, Vlasova EA, Sokolov AM, Morgunova EV.** Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language. Journal of Applied Informatics. 2021; 16(1): 22-31. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-1-22-31.
 - [17] **Jean-Baptiste L.** Ontologies With Python: Programming Owl 2.0 Ontologies With Python and Owlready2. NY: Apress, 2020. 344 p.
 - [18] **Shchukarev IA.** Features of working with Russian-language ontologies using the Owlready2 library in Python [In Russian]. Software & Systems. 2023; 2: 223–227. DOI: 10.15827/0236-235X.142.223-227.
 - [19] **Burdina ES, Utkina AV.** The impact of discount programs on the profit level of a pharmacy [In Russian]. News of GGTU. Medicine, pharmacy. 2020; 4: 78-79.
 - [20] **Martsevich S.YU., Lukina YU.V., Drapkina O.M.** Basic principles of combination drug therapy. Focus on drug-drug interactions. Cardiovascular therapy and prevention. 2021; 7: 172-178. DOI: 10.15829/1728-8800-2021-3031.
 - [21] **Kovalskaya G.N., Mikhalevich E.N.** State register of medicines: drug-drug interactions // Issues of ensuring the quality of medicines. 2019; 3: 59-65.
-

About the authors

Vadim Sergeevich Moshkin (b. 1990) graduated from the Ulyanovsk State Technical University (ULSTU) in 2012, Ph. D. (2017), associate professor of the Information Systems department at ULSTU. Vice-Rector for Digital Transformation at ULSTU. Vice-President of the Russian Association of Artificial Intelligence. He is a co-author of more than 150 publications in the field of data mining, design automation and construction of applied intelligent systems. Author ID (RSCI): 762084; Author ID (Scopus): 57190250573; Researcher ID (WoS): L-3578-2016; ORCID: 0000-0002-9258-4909. v.moshkin@ulstu.ru. ✉.

Igor' Aleksandrovich Shchukarev (b. 1991). graduated from the Ulyanovsk State University in 2013, Ph. D. (2017), an associate professor of the Information technologies and general scientific disciplines department at ULSTU. He is a co-author of more than 40 publications. Author ID (RSCI): 821520; Author ID (Scopus): 56565459600; Researcher ID (WoS): AAH-6813-2019; ORCID: 0000-0002-8860-8103. blacxpress@gmail.com.

Received February 9, 2024. Revised July 10, 2024. Accepted July 15, 2024.



Подход к разработке онтологии кластера

© 2024, Д.Л. Напольских

Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ), Йошкар-Ола, Россия

Аннотация

Представлен концептуальный подход к разработке онтологии предметной области «Кластеры» и формированию соответствующего инструментария разработки. Онтология кластера является основой для решения задач кластерной политики с помощью технологий искусственного интеллекта. Предметом исследования является иерархия понятий онтологии «Кластеры» и структура отношений между ними. Задачами работы являются формализация таксономической иерархии онтологии «Кластеры», определение видов и структуры отношений между элементами онтологии. В исследовании использована совокупность информационных технологий, объединённых единым семантическим каркасом: онтологический язык *OWL*, редактор онтологий для построения баз знаний *Protege*, программные инструменты работы с онтологиями. Рассмотрены критерии классификации и виды семантических сетей предметной области «Кластеры». Определены типы отношений, которые могут применяться при построении семантической сети этой предметной области. К новым видам кластеров отнесены «Инновационный мультикластер» и «Инновационный гиперкластер». Впервые предложена структура таксономической иерархии онтологии «Кластеры», выделены основные типы отношений между элементами. Определены направления применения предлагаемой онтологии для цифровизации систем регионального управления.

Ключевые слова: семантическая сеть, онтология, предметная область, *OWL*, *Protégé*, кластер, кластерная политика, региональное управление.

Цитирование: Напольских Д.Л. Подход к разработке онтологии кластера // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №3(53). С.355-365. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-355-365.

Финансирование: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-78-10042 «Методология многоуровневой интеграции экономического пространства и синхронизации инновационных процессов как основа устойчивого развития российских регионов (на основе концепции инновационного гиперкластера)» <https://rscf.ru/project/23-78-10042/>.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Кластерная терминология активно применяется в научных исследованиях, государственных программах и корпоративных проектах для обозначения различных территориальных форм отраслевой организации производства [1]. С ростом результативности кластерной политики кластерные терминология и модели территориального развития стали широко использоваться в смежных с региональной экономикой сферах, что привело к появлению различных контекстов трактовки сущности кластеров и подходов к их классификации [2]. Вследствие этого терминологические рамки кластерной политики размываются, а названия «кластер» и «инновационный кластер» приобретают различные квазикаластерные системы. Это можно объяснить заинтересованностью территориальных органов управления в получении финансирования в рамках государственных программ кластерного развития, а также повышением инвестиционной привлекательности территории [3, 4]. Свободные интерпретация и использование понятия «кластер», а также вульгаризация этого понятия для восприятия широкой аудиторией могут стать причинами ошибочного выбора механизмов и инструментов социально-экономического развития регионов [5].

Под *кластером* в работе понимается саморазвивающаяся территориально-отраслевая экономическая система, характеризующаяся пространственной концентрацией производства, гетерогенным составом и сетевой структурой взаимодействий самостоятельных организаций-участников, а также высоким уровнем институционализации и конкурентоспособности. *Инновационный кластер* рассматривается как тип кластеров, характеризующийся специализацией на высокотехнологичном производстве, разработке инновационных товаров и услуг, а также наличием научно-образовательного ядра (научные центры, университеты и т.д.) и развитой инновационной инфраструктуры.

Кластерная политика - это система форм, механизмов и инструментов государственной поддержки кластерных инициатив и действующих кластеров, реализуемых на национальном и региональном уровнях. Реализация кластерной политики направлена на комплексное экономическое развитие территорий, а также формирование благоприятной для инновационной деятельности институциональной среды.

Концептуальные рамки теории кластера обусловлены эволюционной теорией и сформированы на основе экономической теории конкурентоспособности, пространственного развития, системных инноваций. Концептуально класс «Кластеры» ограничен кругом территориально-отраслевых экономических систем, представляющих собой совокупность организаций-участников, объединившихся на основе долгосрочных сетевых контрактов с целью эффективного использования ресурсов и специфических преимуществ для повышения общей конкурентоспособности.

Семантические сети (СС) являются одной из форм для автоматизированного решения широкого круга исследовательских и прикладных задач в сфере социально-экономического развития [6]. Активное внедрение интеллектуальных систем в государственное и корпоративное управление актуализирует задачи анализа неструктурированной информации, получаемой из различных баз знаний (БЗ), формализации предметной области (ПрО) «Кластеры» для решения задач кластерной политики на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) [7]. Преимуществом СС по сравнению с базами данных является их модель, позволяющая рассматривать объекты и явления в контексте различных областей знания. Данная концепция получила развитие в виде универсальных БЗ *Wikidata*¹ и *Metaphactory*², а также ряда специализированных, например, компании *Siemens* (эксплуатация промышленного оборудования)³, *Statoil* (нефтяная отрасль) [8], *Pinterest* (таргетированная реклама) [9], *BioPortal*⁴. (медицина и биотехнологии).

Основой построения СС являются онтологии [10-13]. Онтология задаёт предмет описания, формируя возможность оперировать определённым кругом понятий и делать высказывания об этих понятиях. СС является графической структурой представления (визуализации) и анализа знаний, построенной на основе отношений между понятиями в рамках теории кластера, а онтология представляет собой логическую формализацию понятий, их свойств и взаимосвязей. СС, выступающие формой представления информации в виде ориентированного графа, могут рассматриваться как один из способов реализации онтологии. При этом СС не имеют ограничений для представления знаний в рамках определённой ПрО, если эти знания могут быть представлены в виде графа. Отличие онтологий от СС состоит также в том, что онтология является спецификацией, описывающей семантический контекст понятий в рамках ПрО «Кластеры». Применительно к задачам исследования СС и онтологии рассмат-

¹ Welcome to Wikidata. https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main_Page.

² Welcome to metaphactory. <https://wikidata.metaphacts.com/resource/app:Start>.

³ Artificial Intelligence: The Context Revolution. <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/artificial-intelligence/artificial-intelligence-industrial-knowledge-graph.html>.

⁴ Welcome to BioPortal, the world's most comprehensive repository of biomedical ontologies. <https://bioportal.bioontology.org/>.

риваются как две взаимосвязанные формы представления концепции кластера, органически дополняющие друг друга.

В [14] обобщены методы разработки специализированных онтологий для задач моделирования в рамках определённой ПрО, а в [15] проведены анализ и систематизация семантических ресурсов, применяемых при разработке онтологий ПрО. Методология интеграции подпространства определённой ПрО в семантическое пространство верхнего уровня рассмотрена в [16], а в [17] - теоретические и прикладные аспекты автоматического построения СС.

1 Постановка задачи и инструментарий исследования

Разработка онтологии ПрО «Кластеры» для решения задач кластерной политики на основе технологий ИИ обусловлена научно-практической проблемой совершенствования технологических возможностей субъектов кластерной политики на национальном и региональном уровнях. Онтология ПрО «Кластеры» позволит расширить технологический инструментарий мониторинга процессов кластеризации экономики за счёт анализа больших объёмов информации из различных БЗ [18].

Ключевым методологическим ограничением при разработке онтологии ПРО «Кластеры» является её релевантность модели региональной экономики и теории кластерного развития [19, 20]. В процессе разработки онтологии ПрО «Кластеры» нашли применение следующие основные компоненты теории кластера: жизненный цикл кластера, критерии классификации кластеров, типы отраслевой специализации кластеров, виды организаций-участников кластера и др. Для онтологического представления кластера необходимо определение и упорядочение совокупности понятий ПрО в форме тезауруса, а также структурирование отношений между ними.

Решение задачи разработки онтологии ПрО «Кластеры» заключается в последовательном выполнении следующих подзадач:

- составление перечня основных и второстепенных классов понятий ПрО «Кластеры», лежащих в основе таксономической иерархии онтологии;
- разработка и формализация таксономической иерархии онтологии;
- определение видов и структуры отношений между элементами онтологии.

В работе использована совокупность информационных технологий, объединённых единым семантическим каркасом: онтологический язык *OWL* второй версии, редактор онтологий и фреймворк для построения БЗ *Protege*, программные инструменты работы с онтологиями. Инструментарий разработки онтологии ПрО «Кластеры» представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Инструментарий разработки онтологии предметной области «Кластеры»

Описание онтологии на *OWL* представляет собой последовательность аксиом, использующихся для формализации информации о ресурсах и их свойствах. Под ресурсом понимается описание объекта, класса объектов, абстрактной категории, цифрового документа и т.д., позволяющее сделать какое-либо высказывание в форме триплета «субъект-предикат-объект» (рисунки 2). Для идентификации ресурсов используется унифицированный идентификатор ресурсов (*Uniform Resource Identifier, URI*).



Рисунок 2 – Триплет «субъект-предикат-объект»

2 Разработка онтологии кластера

Представление концепции кластера в форме специализированной онтологии основано на сформированном в ходе исследования тезаурусе, в рамках которого даны определения понятиям, описывающим исследуемую область знаний. Предлагаемая онтология ПрО включает базовые термины, относящиеся к региональной экономике и управлению, экономической географии, кластерной политике, а также выделенные типы кластеров и различных образований кластерного типа.

Для каждого класса онтологии средствами языка *rdfs:isDefinedBy* дано определение, соответствующее современному состоянию региональной экономики и концепции кластера. С помощью инструментария редактора *Protege* в разделе *Classes–Description* проведено разграничение непересекающихся классов через предикат *Disjoint With*. Пример описания класса «кластер» представлен на рисунке 3.

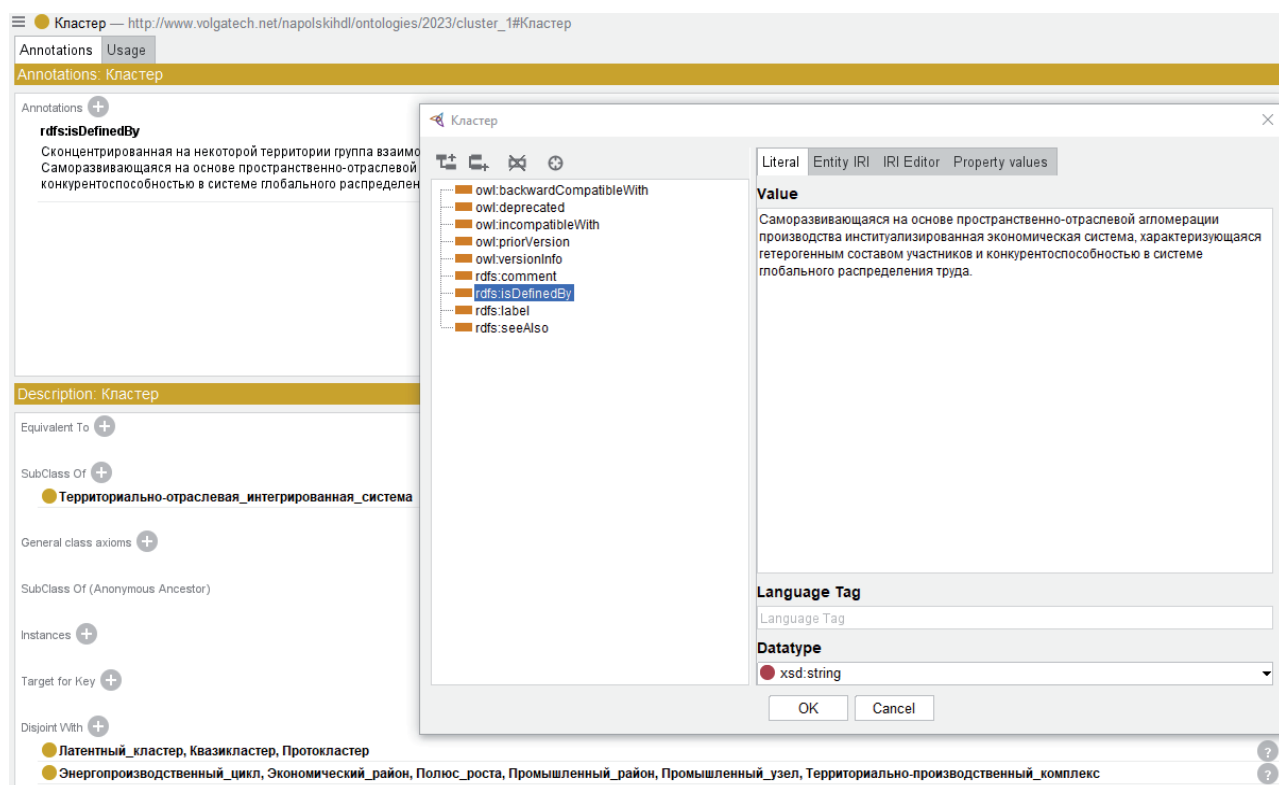


Рисунок 3 – Пример описания класса «кластер» в редакторе *Protege*

К верхнему уровню онтологии ПрО «Кластеры» относятся 16 классов (см. рисунок 4), из них 14 классов имеют подклассы (кроме классов «Национальная инновационная система» и «Региональная инновационная система»).

Структура таксономических отношений, определяющих уровни понятий (надкласс – класс – подкласс) формируется в виде таксономической иерархии. Например, класс «Технопарк» включает в себя подклассы «Технопарк в сфере высоких технологий», «Промышленный технопарк», «Агропромышленный технопарк», «Экотехнопарк». Класс «Технопарк» является подклассом для класса «Объект инновационной инфраструктуры», который объединяет все технопарки и схожие с ними инновационные организации (центры трансфера технологий, центры коллективного пользования, бизнес-инкубаторы и т.д.). Конкретные российские высокотехнологичные технопарки в данном случае могут рассматриваться в качестве экземпляров подкласса «Технопарк в сфере высоких технологий», класса «Технопарк» и надкласса «Объект инновационной инфраструктуры».

Для представления в онтологии новых типов инновационных кластеров, отличающихся сложной многоуровневой структурой экономических отношений, используется структурное отношение. К новым типам кластеров, предложенных автором, относятся «Инновационный мультикластер» и «Инновационный гиперкластер».

Инновационный мультикластер – территориально-отраслевая система кластерного типа, образованная на основе интеграции нескольких взаимосвязанных кластеров, специализирующихся в смежных видах экономической деятельности.

Инновационный гиперкластер – развивающийся на основе цифровых сред и платформ тип инновационных мультикластеров, особенностями которого являются мультиотраслевая специализация, трансрегиональный характер экономической деятельности и сетевая структура взаимодействия участников. Инновационный кластер является обязательной составной частью инновационного мультикластера, а цифровые платформы и цифровые экосистемы входят в состав инновационного гиперкластера.

Представление экономической концепции кластера в форме онтологии ПрО «Кластеры» также включает задачу систематизации используемых в её рамках отношений (*object properties*, *data properties*, см. рисунок 5).

К специфическим отношениям, применяемым в рассматриваемой онтологии, относятся «располагаться на территории», «координировать развитие», «являться резидентом», «иметь объём выручки» и другие типы отношений (рисунок 5).

Для специализированных онтологий наряду с общепринятыми типами отношений (таксономических, структурных и др.) вводятся отношения, свойственные рассматриваемой ПрО. В онтологии ПрО «Кластеры» используются следующие универсальные отношения: между объектом и классом, между подклассом и классом, части и целого. Пример отноше-

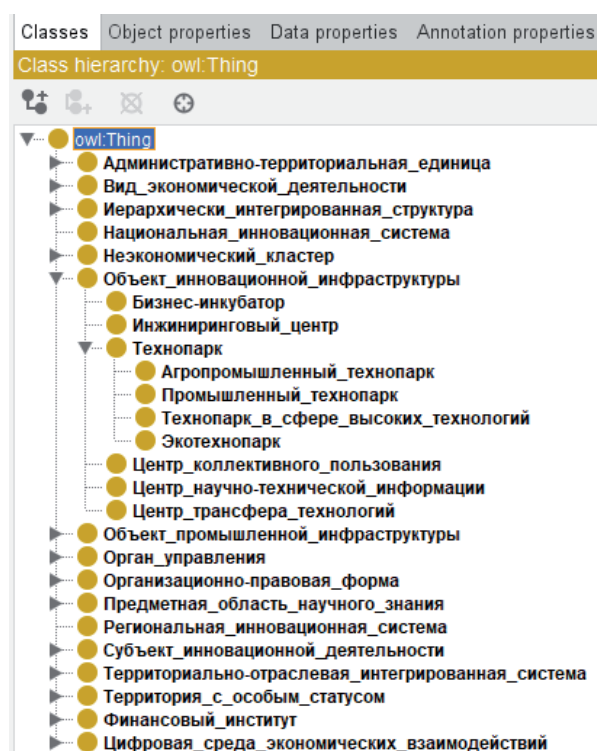


Рисунок 4 – Верхний уровень таксономической иерархии онтологии предметной области «Кластеры» (выполнено в редакторе *Protege*)

ний между подклассом и классом, раскрывающих основные виды кластеров и систем кластерного типа представлен на рисунке 6.

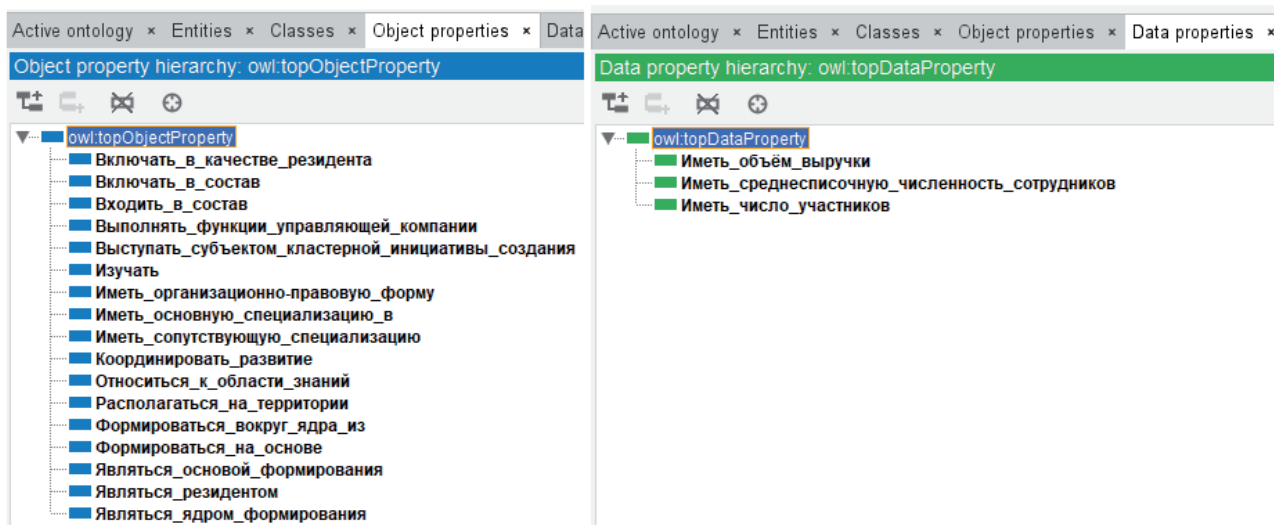


Рисунок 5 – Типы отношений, разработанные для представления концепции кластера в форме онтологии (выполнено в редакторе *Protege*)

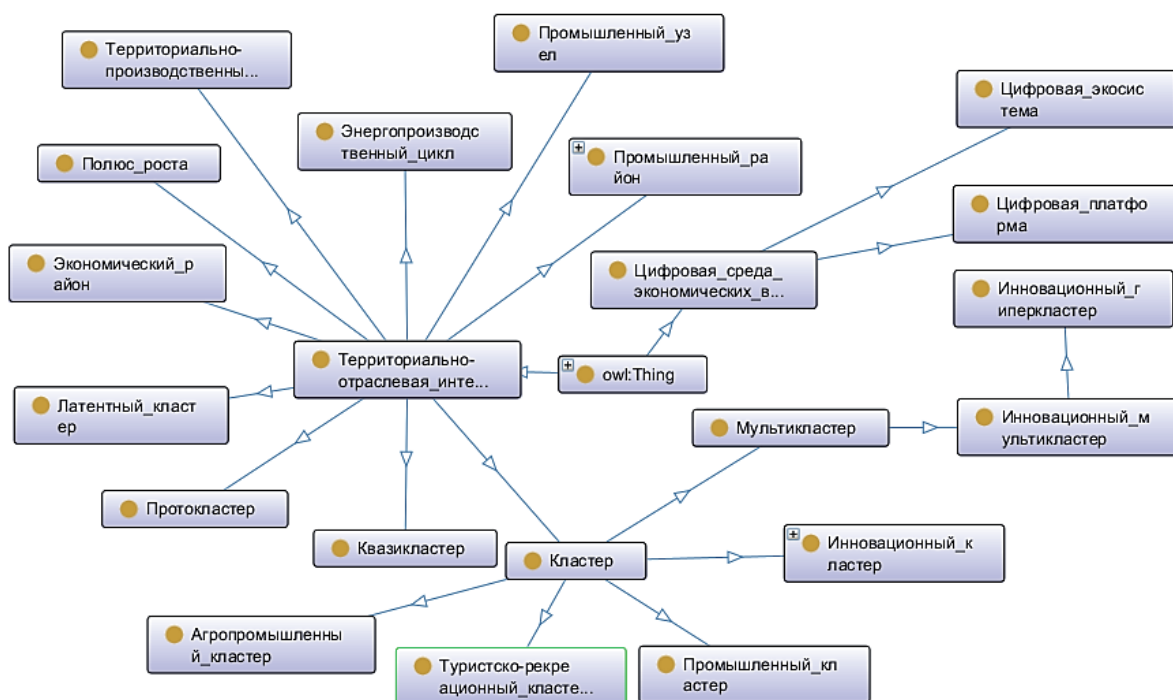


Рисунок 6 – Структура отношений между основными видами кластеров и образований кластерного типа (выполнено с помощью инструмента *OntoGraf* в редакторе *Protege*)

На этом рисунке представлена наиболее полная (на сегодняшний день) таксономическая иерархия кластера, включающая четыре базовых типа кластеров (инновационные, промышленные, агропромышленные, туристско-рекреационные), а также мультикластеры, к которым относятся модели «Иновационный мультикластер» и «Иновационный гиперкластер». Необходимо отметить, что квазикаластеры, протокластеры и латентные кластеры в представленной структуре не относятся к классу «истинных» кластеров. Протокластеры характеризуются недостаточным количеством участников, низким уровнем их разнообразия и сетевой

связанности. Латентные кластеры представляют собой сформировавшиеся экономические системы кластерного типа, не прошедшие необходимую формализацию и институционализацию. В рамках разработки онтологии потребовалось введение ранее не запланированного подкласса «квазикластер», к которому отнесены различные номинальные подобию, имеющие наименование «кластер», но не обладающие всеми признаками кластеров. Впервые в рамках онтологии ПрО «Кластеры» систематизирована вся совокупность схожих с кластерами территориально-отраслевых интегрированных систем.

В ходе разработки онтологии ПрО «Кластеры» полученные следующие выводы.

Определены несколько групп понятий, использующихся в рамках различных правовых актов и источников для обозначения одно и того же явления, имеющего определённую экономическую сущность. Примером такой группы являются относящиеся к классу «вертикально интегрированная система» понятия «группа компаний», «холдинг» и «концерн», которые одновременно могут выступать в качестве «конгломерата» и в результате цифровой трансформации также являться «цифровой экосистемой».

Выявлены понятия, имеющие различный организационно-экономический смысл в зависимости от практики реализации кластерной политики в различных субъектах Российской Федерации. Так, в различных субъектах Российской Федерации кластеры (экземпляры/индивиды) могут содержать в своём наименовании слова «ассоциация», «некоммерческое партнёрство» и т.д., которые также могут выступать в роли организационно-правовой формы (класс) для других организаций, не являющихся кластерами. Игнорирование подобных совпадений при комбинации различных ведомственных и региональных баз данных может привести к неверным выводам.

Заключение

Результатом исследования является формирование концептуального подхода к представлению кластера с помощью семантических технологий. Формализация концепции кластера позволила разработать специализированную онтологию кластера, выполняющую функцию базовой модели для дальнейшего развития кластерной политики региона. Для представления ПрО «Кластеры» построена модель знаний, в которой обобщены и структурированы различные подходы к определению и классификации кластеров, а также смежных с ними экономических систем. При разработке системы специфических отношений, применяемых в онтологии ПрО «Кластеры» уточнены структура и экономическая сущность моделей «Инновационный мультикластер» и «Инновационный гиперкластер». Разработанная онтология ПрО «Кластеры» может стать основой для структурирования различных источников знаний о кластерах, извлечения необходимых данных и их контекстуализации.

В качестве примеров систем моделирования процессов территориального развития, в дополнение к которым может применяться разработанная онтология ПрО «Кластеры», можно выделить модельные комплексы Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН «КАМИН» (комплексный анализ межотраслевой информации), «СИРЕНА» (синтез региональных и народнохозяйственных систем) и «СОНАР» (согласование отраслевых и народнохозяйственных решений)⁵.

В качестве потенциальных направлений использования онтологии ПрО «Кластеры» возможно уточнение топологических свойств экономического пространства российских регионов на основе кластеров и схожих с ними территориальных систем, а также построение сценариев развития межрегиональных экономических систем на основе эволюционной динамики кластеров. В качестве БЗ, содержащих разнородную информацию о кластерах и схожих с ними системах, данные из которых могут быть интегрированы на основе разработанной онтологии, могут быть выделены: информационная система по учёту и мониторингу малых инновационных

⁵ Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. <https://www.ieie.su/about/ieie.html>.

предприятий научно-технической и образовательной сферы Министерства науки и высшего образования РФ⁶; БД портала «Инновационная инфраструктура и основные показатели инновационной деятельности субъектов Российской Федерации»⁷; Атлас промышленности ГИСП⁸; Карта кластеров России⁹.

В качестве примеров потенциального практического применения разработанной онтологии ПрО «Кластеры» выделены следующие.

- Идентификация органами государственного управления потенциальных, латентных и действующих кластеров, а также видовая и отраслевая дифференциация выявленных кластеров с целью включения их в национальные и региональные программы (Реестр кластеров и кластерных инициатив Ростовской области¹⁰).
- Моделирование и визуализация процессов формирования и развития кластеров на карте территории, в т.ч. изучение неоднородности экономического пространства российских регионов (Инвестиционная карта Калужской области¹¹, Проект «Татарстан-2030»¹²).
- Моделирование органами государственной власти и институтами регионального развития организационной и институциональной структуры взаимодействия в рамках инновационных кластеров (Стратегия развития Камского инновационного территориально-производственного кластера¹³).

Полученные результаты могут служить основой для исследований процессов развития сложных и многоуровневых экономических систем, формирующихся на базе интеграции инновационных кластеров, цифровых платформ и экосистем. Например: Московский инновационный кластер, развивающийся на основе широкого применения цифровых сервисов и платформ в рамках единой цифровой экосистемы;¹⁴ кластеры Российской ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК), представляющие форму сетевого взаимодействия участников рынка технологий ИИ¹⁵; Энерготехнохаб «Петербург», участниками которого являются более 100 компаний из 20 регионов России¹⁶.

Список источников

- [1] *Hospers G., Desrochers P., Sautet F.* The next Silicon Valley?: On the relationship between geographical clustering and public policy // *International Entrepreneurship and Management Journal*. 2009. Vol.5(3). P.285–299. DOI:10.1007/s11365-008-0080-5.
- [2] *Sedita S., Caloffi A., Lazzeretti L.* The invisible college of cluster research: A bibliometric core-periphery analysis of the literature // *Industry and Innovation*. 2018. Vol.22(2). P.1–23. DOI:10.1080/13662716.2018.1538872.
- [3] *Nallari R., Griffith B.* Clusters of competitiveness. Washington, DC: World Bank, 2013. 149 p. DOI:10.1596/978-1-4648-0049-8.
- [4] *Napolskikh D.* Innovation Clusters as a Factor of Sustainable Territorial Development in the Context of Digital Transformation. In: Rumyantseva A., Anyigba H., Sintsova E., Vasilenko N.V. (eds) *Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development*. ECOOP 1987. 2024. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. P.377–387. DOI:10.1007/978-3-031-56380-5_34.
- [5] *Brakman S., Van Marrewijk C.* Reflections on cluster policies. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2013. Vol.62(2). P.217–231. DOI:10.1093/cjres/rst001.

⁶ Учёт и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы Минобрнауки РФ. <https://mip.extech.ru/>.

⁷ Инновационная инфраструктура и основные показатели инновационной деятельности субъектов Российской Федерации. <https://www.mii.ru/>.

⁸ Атлас промышленности ГИСП. <https://gisip.gov.ru/gisip/#/sections/map/39.702534,54.450027/5/parks:wkeC?lng=ru>.

⁹ Карта кластеров России. <https://map.cluster.hse.ru/about/>.

¹⁰ Реестр кластеров Ростовской области. <https://www.donland.ru/activity/790/>.

¹¹ Инвестиционная карта Калужской области. <https://map.geoportal40.ru/investkaluga/#/map/36.109931,54.429179/9>.

¹² Стратегия социально-экономического развития республики Татарстан до 2030 г.

https://chistopol.tatarstan.ru/rus/file/Presentation_Tatarstan-2030.pdf?ysclid=lvatag1uif664922846.

¹³ Стратегию развития Камского инновационного территориально-производственного кластера.

https://mert.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_864316.pdf?ysclid=lvatajabq9189916654.

¹⁴ Московский инновационный кластер. <https://i.moscow/>.

¹⁵ Кластеры РАЭК. <https://raec.ru/clusters/>.

¹⁶ Энерготехнохаб «Петербург». <https://www.etechhubsrb.ru/>.

- [6] **Каленов Н.Е.** Об одном подходе к формированию предметных онтологий различных областей науки // Научный сервис в сети Интернет: труды XXII Всероссийской научной конференции (21-25 сентября 2020 г.). Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2020. С.276-285. DOI:10.20948/abrau-2020-14.
- [7] **Грибова В.В., Парикова С.В., Федорищев Л.А.** Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний // *Онтология проектирования*. 2022. Т.12. №2. С.200–217. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
- [8] **Kharlamov E., Hovland D., Skjæveland M., Waaler A.** Ontology Based Data Access in Statoil. *Journal of Web Semantics*. 2017. Vol. 44(1). P.3-36. DOI:10.1016/j.websem.2017.05.005.
- [9] **Gonçalves R.S., Horridge M., Li R., Liu Y., Musen M.A., Nyulas C.I., Obamas E., Shrouy D., Temple D.** Use of OWL and semantic web technologies at Pinterest // In: *The Semantic Web – ISWC 2019*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P.418–435. DOI:10.1007/978-3-030-30796-7_26.
- [10] **Bikakis A., Flouris G., Patkos T., Plexousakis D.** Sketching the vision of the Web of Debates // *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2023. №.6. P.1124045. DOI:10.3389/frai.2023.1124045.
- [11] **Smith B.** The birth of ontology. *Journal of Knowledge Structures and Systems*. 2022. №.3. P.57–66.
- [12] **Паринов С.И., Козаловский М.Р.** Семантическое структурирование контента научных электронных библиотек на основе онтологий // RCDL: труды XIII Всероссийской научной конференции. 2011. С.94–103.
- [13] **Атаева О.М., Серебряков В.А.** Онтология цифровой семантической библиотеки LibMeta. *Информатика и ее применения*. 2018. Т.12(1). С.2–10. DOI:10.14357/19922264180101.
- [14] **Антонов А.А., Быков А.Н., Чернышев С.А.** Обзор существующих способов формирования онтологии предметной области при моделировании // *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*. 2021. Т.6(4). С.12–17.
- [15] **Лаврищева Е.М., Карпов Л.Е., Томилин А.Н.** Семантические ресурсы для разработки онтологии научной и инженерной предметных областей // Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016, Новороссийск). Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. С.223–239. DOI:10.20948/abrau-2016-16.
- [16] **Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П.** Интеграция подпространства предметной области в семантическое пространство «математика». *Программные продукты и системы*. 2023. Т. 6(1). С.3–96. DOI:10.15827/0236-235X.141.083-096.
- [17] **Потараев В.В., Серебряная Л.В.** Автоматическое построение семантической сети для получения ответов на вопросы // Доклады БГУИР. 2020. Т. 18(4). С.44–52.
- [18] **Ketels C., Protsiv S.** Cluster presence and economic performance: a new look based on European data // *Regional Studies*. 2021. Vol.55(2). P.208–220. DOI:10.1080/00343404.2020.1792435.
- [19] **Tambovtsev V.L.** Clusters: Coordination, inter-firm relationships and competitive advantages // *Upravlenets (The Manager)*. 2022. Vol. 13(1). P.20–36. DOI: 10.29141/2218-5003-2022-13-1-2.
- [20] **Сморodinская Н.В., Катукоев Д.Д.** Когда и почему региональные кластеры становятся базовым звеном современной экономики // *Балтийский регион*. 2019. Т.11(3). С.61-91. DOI:10.5922/2079-8555-2019-3-4.

Сведения об авторе

Напольских Дмитрий Леонидович, 1987 г. рождения. Окончил ПГТУ в 2011 г., к.э.н. (2014). Ведущий научный сотрудник, доцент кафедры управления и права ПГТУ, руководитель магистерской программы «Искусственный интеллект в архитектуре информационных систем цифрового государства». В списке научных трудов более 150 работ в области инновационной экономики, информационных технологий государственного управления. Author ID (РИНЦ): 596038; Author ID (Scopus): 56374445300; Researcher ID (WoS): N-1178-2016. *NapolskihDL@yandex.ru*.



Поступила в редакцию 25.03.2024, после рецензирования 24.04.2024. Принята к публикации 10.07.2024.



Approach to developing a cluster ontology

© 2024, D.L. Napolskikh

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Abstract

A conceptual approach to developing an ontology for the "Clusters" subject area and forming corresponding development tools is presented. The cluster ontology is fundamental for addressing cluster policy issues using artificial intelligence technologies. The study focuses on the hierarchy of concepts in the "Clusters" ontology and the structure of relations between them. The objectives are to formalize the taxonomic hierarchy of the "Clusters" ontology and determine the types and structure of relationships between ontology elements. The study utilized a set of information technologies unified by a single semantic framework: the ontological language OWL, the Protege ontology editor for building knowledge bases, and software tools for working with ontologies. The classification criteria and types of semantic networks in the "Clusters" subject area are examined. The types of relations applicable in constructing a semantic network for this subject area are identified. New types of clusters, such as "Innovation multicluster" and "Innovation hypercluster," are introduced. For the first time, the structure of the taxonomic hierarchy of the "Clusters" ontology is proposed, and the main types of relationships between elements are identified. The directions for applying the proposed ontology for the digitalization of regional management systems are outlined.

Keywords: semantic network, ontology, subject area, OWL, Protégé, cluster, cluster policy, regional management.

For citation: Napolskikh D.L. Approach to developing a cluster ontology [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 355-365. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-355-365.

Financial Support: The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 23-78-10042 "Methodology for multi-level integration of economic space and synchronization of innovative processes as the basis for sustainable development of Russian regions (based on the concept of an innovative hypercluster)" <https://rscf.ru/project/23-78-10042/>.

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

List of figures

Figure 1 - Methodological tools for developing the ontology of the "Clusters" subject area

Figure 2 - The "subject-predicate-object" triplet

Figure 3 - Description of the "Cluster" class in the Protege editor

Figure 4 - The upper level of the taxonomic hierarchy of the ontology of the "Clusters" subject area (done in the Protege editor)

Figure 5 - Types of relationships developed to represent the concept of a cluster in ontology form (done in the Protege editor)

Figure 6 - The structure of relations between the main types of clusters and cluster-type formations (done in the Protege editor)

References

- [1] *Hospers G, Desrochers P, Sautet F.* The next Silicon Valley?: On the relationship between geographical clustering and public policy. *International Entrepreneurship and Management Journal*. 2009; 5(3): 285–299. DOI:10.1007/s11365-008-0080-5.
- [2] *Sedita S, Caloffi A, Lazzeretti L.* The invisible college of cluster research: A bibliometric core-periphery analysis of the literature. *Industry and Innovatio*. 2018; 22(2): 1–23. DOI:10.1080/13662716.2018.1538872.
- [3] *Nallari R, Griffith B.* Clusters of competitiveness. Washington, DC: World Bank, 2013. 149 p. DOI: 10.1596/978-1-4648-0049-8.
- [4] *Napolskikh D.* Innovation Clusters as a Factor of Sustainable Territorial Development in the Context of Digital Transformation. In: Rumyantseva A., Anyigba H., Sintsova E., Vasilenko N.V. (eds) Finance, Economics, and In-

- dustry for Sustainable Development. ECOOP 1987. 2024. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. P.377-387. DOI:10.1007/978-3-031-56380-5_34.
- [5] **Brakman S, Van Marrewijk C.** Reflections on cluster policies. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2013; 62(2): 217–231. DOI:10.1093/cjres/rst001.
 - [6] **Kalenov NE.** On one approach to the formation of subject ontologies of various fields of science [In Russian]. Scientific service on the Internet: proceedings of the XXII All-Russian Scientific Conference (September 21-25, 2020). Moscow: IPM named after M.V. Keldysh; 2020: 276-285. DOI:10.20948/abrau-2020-14.
 - [7] **Gribova VV, Parshkova SV, Fedorishchev LA.** Ontologies for developing and generating adaptive user interfaces of knowledge base editors [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 200-217. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
 - [8] **Kharlamov E., Hovland D., Skjæveland M., Waaler A.** Ontology Based Data Access in Statoil. *Journal of Web Semantics*. 2017; 44(1): 3-36. DOI:10.1016/j.websem.2017.05.005.
 - [9] **Gonçalves R.S., Horridge M., Li R., Liu Y., Musen M.A., Nyulas C.I., Obamos E., Shrouly D., Temple D.** Use of OWL and semantic web technologies at Pinterest. In: *The Semantic Web – ISWC 2019*. Cham: Springer International Publishing; 2019: 418–435. DOI:10.1007/978-3-030-30796-7_26.
 - [10] **Bikakis A, Flouris G, Patkos T, Plexousakis D.** Sketching the vision of the Web of Debates. *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2023; 6: 1124045. DOI:10.3389/frai.2023.1124045.
 - [11] **Smith B.** The birth of ontology. *Journal of Knowledge Structures and Systems*. 2022; 3: 57–66.
 - [12] **Parinov SI, Kogalovsky MR.** Semantic structuring of the content of scientific electronic libraries based on ontologies [In Russian]. RCDL: proceedings of the XIII All-Russian Scientific Conference. 2011: 94–103.
 - [13] **Ataeva OM, Serebryakov VA.** Ontology of the digital semantic library LibMeta [In Russian]. *Informatics and its applications*. 2018; 12(1): 2-10. DOI:10.14357/19922264180101.
 - [14] **Antonov AA, Bykov AN, Chernyshev SA.** Review of existing methods of formation of domain ontology in modeling [In Russian]. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 2021; 6(4): 12-17.
 - [15] **Lavrishcheva EM, Karpov LE, Tomilin A.N.** Semantic resources for the development of ontology of scientific and engineering subject areas [In Russian]. Scientific service on the Internet: proceedings of the XVIII All-Russian Scientific Conference (September 19-24, 2016, Novorossiysk). Moscow: IPM named after M.V. Keldysh; 2016: 223-239. DOI:10.20948/abrau-2016-16.
 - [16] **Ataeva OM, Serebryakov VA, Tuchkova NP.** Integration of the subspace of the subject area into the "mathematics" semantic space [In Russian]. *Software products and systems*. 2023; 36(1): 83-96. DOI:10.15827/0236-235X.141.083-096.
 - [17] **Poturaev VV, Serebryanskaya LV.** Automatic construction of a semantic network for obtaining answers to questions [In Russian]. *Reports of BGUIR*. 2020; 18(4): 44-52.
 - [18] **Ketels C, Protsiv S.** Cluster presence and economic performance: a new look based on European data. *Regional Studies*. 2021; 55(2): 208–220. DOI:10.1080/00343404.2020.1792435.
 - [19] **Tambovtsev VL.** Clusters: Coordination, inter-firm relationships and competitive advantages. *Upravlenets (The Manager)*. 2022; 13(1): 20–36. DOI: 10.29141/2218-5003-2022-13-1-2.
 - [20] **Smorodinskaya NV, Katukov DD.** When and why the regional clusters become the basic link of the modern economy [In Russian]. *The Baltic Region*. 2019; 11(3): 61—91. DOI:10.5922/2079-8555-2019-3-4.

About the author

Dmitry Leonidovich Napolskikh (b. 1987). He graduated from the Volga State University of Technology in 2011, Ph.D. in Economics (2014). Leading researcher, Associate Professor of the Department of Management and Law of the Volga State University of Technology, the head of the "Artificial Intelligence in the architecture of information systems of the digital state" master's program. The list of scientific papers includes more than 150 works in the field of innovative economics and information technologies of public administration. Author ID (RSCI): 596038; Author ID (Scopus): 56374445300; Researcher ID (WoS): N-1178-2016. NapolskikhDL@yandex.ru.

Received March 25, 2024. Revised April 24, 2024. Accepted July 10, 2024.



Модель лингвистических графов знаний тюркских языков

© 2024, А.Р. Гатиатуллин✉, Н.А. Прокопьев, Д.Ш. Сулейманов

Академия наук Республики Татарстан, Институт прикладной семиотики, Казань, Россия

Аннотация

Описана модель лингвистического графа знаний тюркских языков *TurkLang*, которая положена в основу программных продуктов для компьютерной обработки тюркских языков. Базовыми элементами новой модели лингвистических графов знаний являются минимальные значимые единицы языка – морфемы. В структуре графа знаний отражены свойства морфемы на морфонологическом, морфологическом, синтаксическом и семантическом уровнях. Подобная модель в наибольшей степени соответствует структурно-функциональным особенностям тюркских языков, как языков агглютинативного типа, и позволяет полно и прагматически-ориентированно описывать потенциальные возможности тюркских языков и их проявления в текстах. Свойства модели использованы в программных продуктах, связанных с семантической обработкой текстов, в составе лингвистического портала «Тюркская морфема» и новой версии электронного корпуса татарского языка «Туган тел». Единая модель лингвистического графа знаний тюркских языков, представленная в статье, позволяет обеспечить полную совместимость программных продуктов, реализуемых для тюркских языков, использовать единую систему понятий и терминов в лингвистических исследованиях. Для тюркских языков это актуально, поскольку многие разработчики используют модели, созданные для языков с другой структурой (английской, русской и др.), а эти модели не соответствуют в полной мере структуре тюркских языков, не позволяют отразить весь коммуникативный и когнитивный потенциал и лексико-грамматические особенности тюркских языков.

Ключевые слова: граф знаний, Интернет-портал, лингвистическая единица, морфема, тюркский язык.

Цитирование: Гатиатуллин А.Р., Прокопьев Н.А., Сулейманов Д.Ш. Модель лингвистических графов знаний тюркских языков // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.366-378. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-366-378.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 24-21-00453).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Для решения задач компьютерной обработки языка требуется наличие лингвистических баз данных (БД) и баз знаний (БЗ). По наличию таких ресурсов происходит классификация на богатые лингвистическими ресурсами и малоресурсные языки. Малоресурсные языки – это естественные языки (ЕЯ), для которых не хватает электронных лингвистических ресурсов для обработки языка и речи, в т.ч. одноязычных корпусов, электронных словарей разного типа, орфографических и фонетических транскрипций речи и т.д. [1]. Разница между богатыми лингвистическими ресурсами и малоресурсными языками постоянно нарастает по объективным причинам, в т.ч. из-за структурной разницы языков. Программное обеспечение, разработанное для языков индоевропейского семейства, не всегда применимо для тюркских языков (ТЯ). Компьютерные лингвистические модели, разработанные для индоевропейских языков, не отображают всю полноту структурно-функциональных особенностей ТЯ.

Многолетний опыт в области разработок и использования инфокоммуникационных технологий показывает, что современные средства накопления и обработки знаний неэффектив-

ны и практически не справляются с такими задачами, как поиск и отбор информации в рас-пределённых БД, извлечение знаний, семантический анализ текстовой информации, прежде всего потому, что они не интеллектуальны изначально. И причиной их неинтеллектуальности является, главным образом то, что создаются они с использованием языков программирования, практически представляющих собой подмножество флективно-аналитических языков или искусственных структур, созданных на основе ЕЯ, морфо-синтаксические структуры которых больше ориентированы на реализацию коммуникативных функций, нежели когнитивных.

Основные отличительные особенности ТЯ [2,3]: агглютинативность, сингармонизм, отсутствие грамматического выделения единственного числа и категории рода; редко встречаются исключения из правил, большинство агглютинативных аффиксов однозначно, имена существительные обладают способностью выполнять функцию определения.

Агглютинация - способ линейного соединения морфем в слове, состоящий в их свободном, не нарушающем морфемных границ, расположении в определённом порядке. Агглютинация в этом смысле противопоставляется фузии [4].

Сингармонизм — это морфонологическое явление, которое заключается в единообразном вокалическом (иногда и консонантном) оформлении слова как морфологической единицы [4].

Направления, в которых проявляются структурно-функциональные особенности ТЯ – это разработка приложений, управляемых знаниями. Основой таких приложений являются графы знаний (ГЗ) [5-7], которые используются для представления онтологических и фактографических знаний о мире. Это такие приложения, как приложения для определения тональности и снятия омонимии слов в задачах информационного поиска.

1 Типы графов знаний

Термин ГЗ активно используется в приложениях, управляемых знаниями. Несмотря на их распространение для решения задач разного вида, единого общепринятого определения ГЗ не существует [8]. Наиболее точным можно считать определение, представленное в работе [9]: *граф знаний* – это структурированный набор данных, собранный из разнородных источников данных, совместимый с моделью данных *RDF* и имеющий онтологию (*OWL*) в качестве своей схемы.

Формально ГЗ представляет собой граф вида $G = \{E, R, T\}$. Здесь G – размеченный ориентированный мультиграф, E – набор вершин, R – набор рёбер, T – набор триплетов вида $(u, e, v) \in T$. Где $u \in E$ – начальная вершина, $v \in E$ – конечная вершина, $e \in R$ – ребро, с началом в вершине u и концом в вершине v . В семантической интерпретации u является субъектом, v – объектом, а e – отношением между субъектом и объектом.

ГЗ называются онтологиями [10], а также определяются как системы, основанные на знаниях [11]. ГЗ позволяют описывать как отдельные предметные области, так и весь мир полностью (например, Википедия).

В качестве отдельного вида ГЗ можно выделить лингвистические ГЗ, которые описывают мир и средства для его описания в виде лингвистических единиц (ЛЕ) и структур ЕЯ. Таким образом, средства для описания мира являются метаданными по отношению к миру, но являются частью этого мира и входят в единый ГЗ (см. рисунок 1).

ГЗ языка L_i представляет собой описание языка L_i и соответствует структуре этого языка. ГЗ каждого языка L_i содержит языковые единицы этого языка, отношения между ними, а также отношения между ними и единицами ГЗ описания мира. ГЗ описания мира представляет собой определённую систему семантических универсалий, независимых от языка. Один из таких лингвистических графов, который соответствует языкам индоевропейского типа, описан в [12]. Его модель (см. рисунок 2) позволяет описывать: отношения между концепта-

ми и лексемами; информацию о встречаемости слов; диахроническую информацию об изменениях, происходящих в лексиконе.

Структура ГЗ содержит: концепты (*Concept*), лексические концепты (*Lexicon Concept*), лексемы (*Lexicon Entry*). Лексические концепты образуют единую таксономическую систему с помощью отношений гипонимии и гиперонимии. Каждой лексеме соответствуют леммы (*Lemma*) и основы словоформы (*Stem*). Такая структура соответствует языкам флективного типа, в которых лемма (словарная форма) и основа словоформы, в отличие от агглютинативных языков, не всегда совпадают. В данном ГЗ отсутствует описание типовых ситуационных фреймов, поэтому модель языка позволяет описывать только словари, а не использование слов в текстах и их потенциальные возможности.

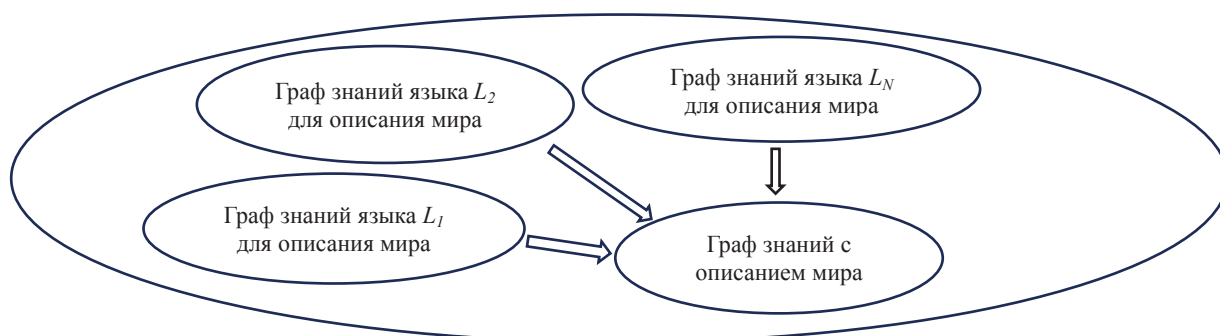


Рисунок 1 – Метаграф знаний

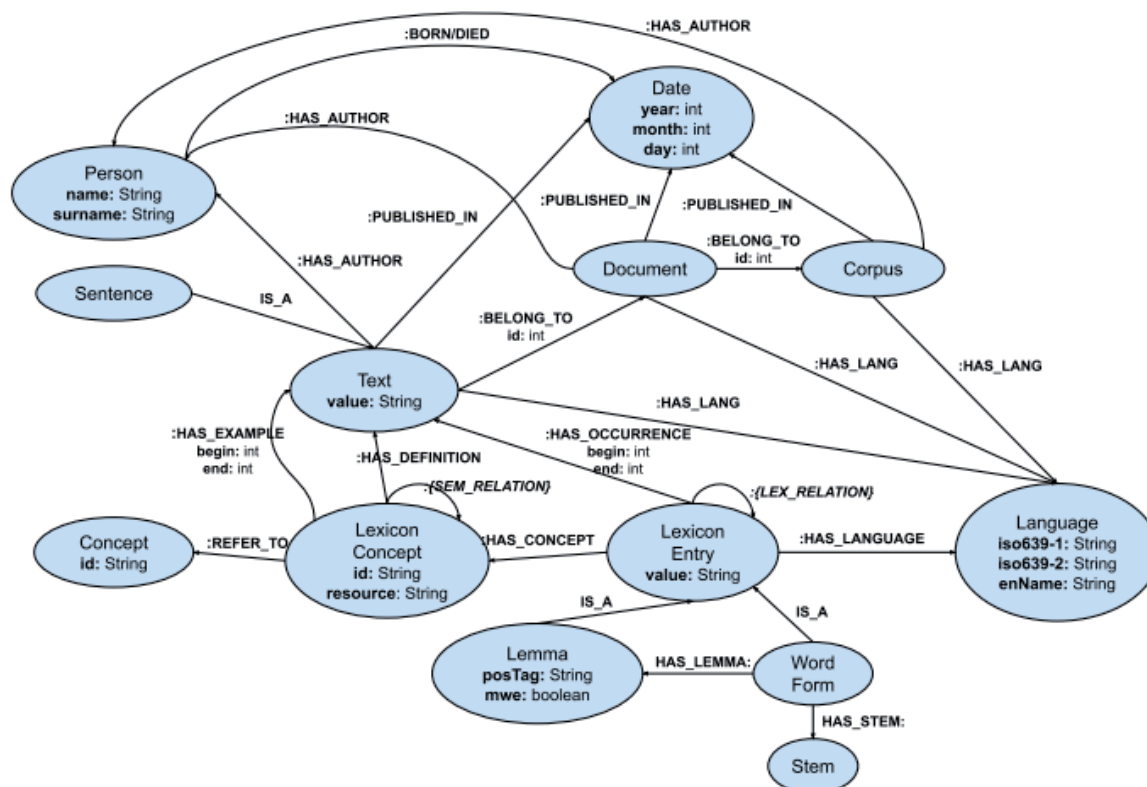


Рисунок 2 – Модель лингвистического графа знаний [11]

Возможности описания использования словоформ в текстах представлены в модели лингвистического ГЗ (*Lexicon Model for Ontologies, LeMon* или *lemon*, см. рисунок 3) [13]. В качестве ключевого элемента в данной модели используется словарная статья (CC, *Lexical*

Entry), которая имеет наибольшее количество взаимосвязей с другими вершинами графа. В качестве СС могут быть представлены слово, фраза или часть слова. Если у какой-то лексемы есть различные варианты, например, сокращения или аббревиатура, то они представляются как отдельные СС, связанные с основной статьёй с помощью ребра графа (*lexicalVariants*). Все СС принадлежат определённым словарям (*Lexicon*), что определяется связью (*entry*). СС может состоять из нескольких лексических форм (*Lexical Form*), одна из которых помечается как каноническая форма (*canonical form*). Лексическое значение СС определяется с помощью концепта онтологии (*Lexical Sense*). Наличие в модели таких элементов, как фрейм (*Frame*) и аргумент (*Argument*) позволяют описывать семантические ситуации. СС может содержать в себе не только отдельные слова, но и многословные выражения (*Multi Word Expression, MWE*), для этого в модели представлены дополнительные компоненты (*Component*).

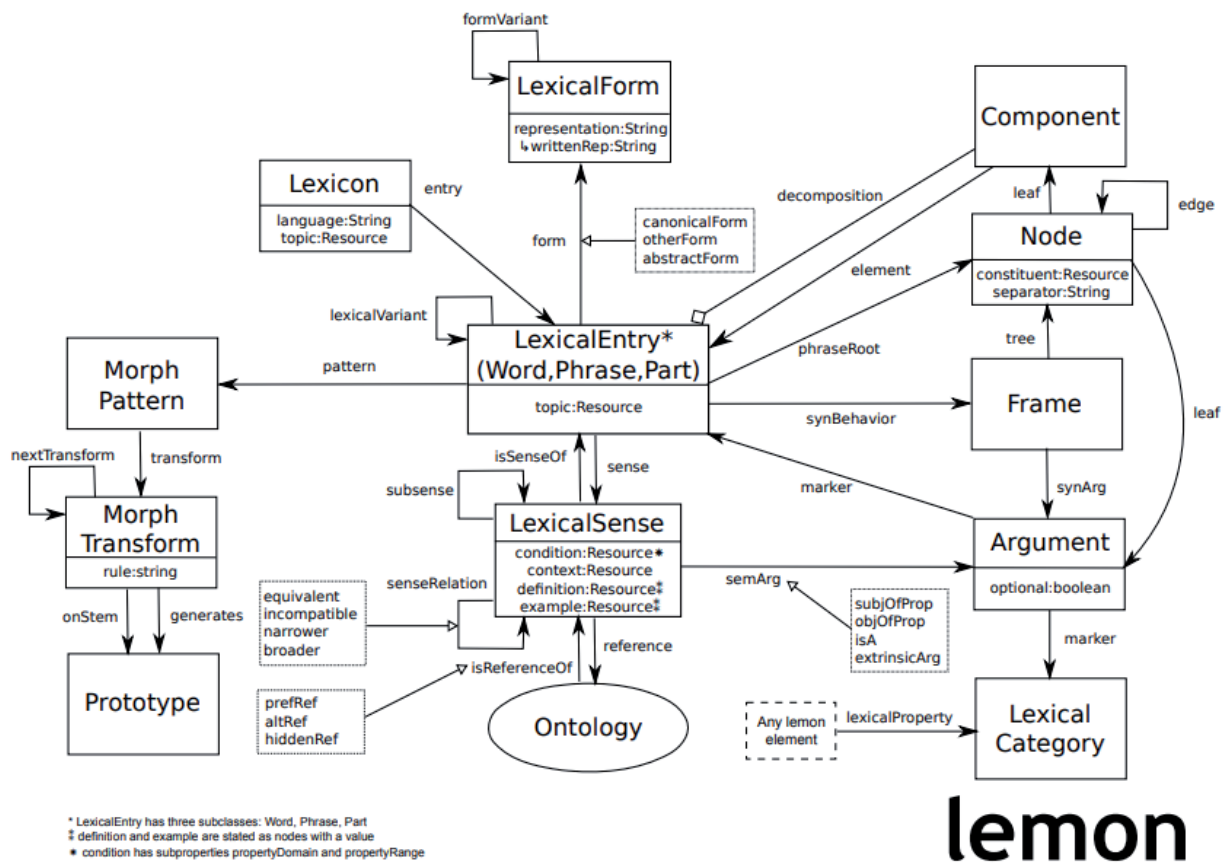


Рисунок 3 - Модель лингвистического графа знаний *Lemon* [12]

Обе модели лингвистических ГЗ позволяют описывать языки с малой морфологией типа английского. В моделях для ТЯ возникла необходимость описывать не только лексемы и словари, но также ситуационные сценарии и их выражения с помощью богатой морфологии агглютинативных языков, к которым относится семейство ТЯ.

Одной из структурных особенностей агглютинативных языков является наличие чёткого деления словоформ на морфемы. Словоформа всегда начинается с корневой морфемы, к которой справа по цепочке присоединяются аффиксальные морфемы. Эта особенность позволяет корневой морфеме выступать в роли лексемы и леммы. Аффиксальная морфема, как правило, имеет одно грамматическое значение. Данные структурные особенности позволили построить модель ГЗ ТЯ, ключевым элементом в которых является морфема.

2 Модель лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang*

На основе анализа существующих лингвистических графов для других типов языков, часть из которых описана в разделе 1, а также с учётом структурно-функциональных особенностей ТЯ, предложена модель ГЗ ТЯ *TurkLang*, представленная на рисунке 4.

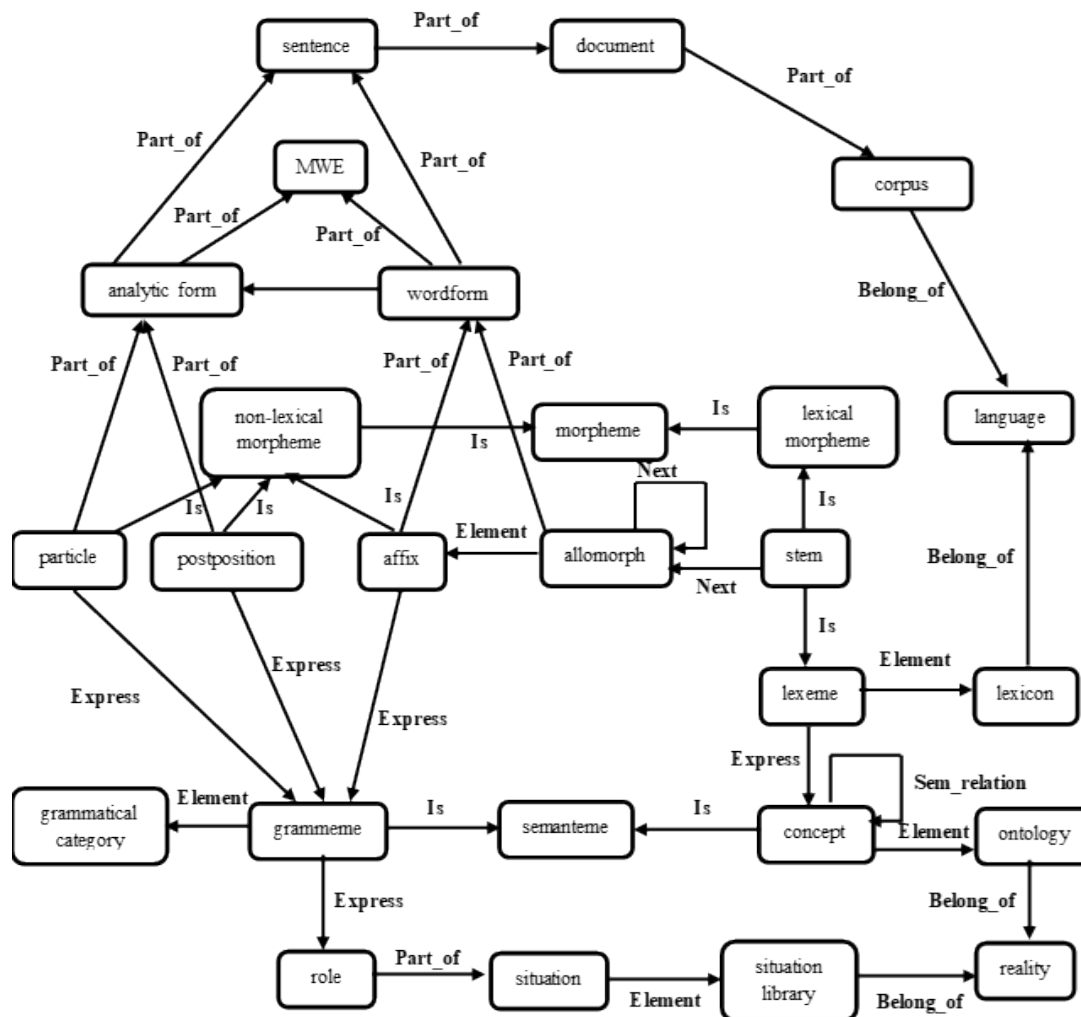


Рисунок 4 – Модель лингвистического графа знаний тюркских языков *TurkLang*¹

Ключевым элементом модели является морфема (*morpheme*), которая может быть лексической (*lexical*) или грамматической (*non lexical*). В качестве грамматических морфем выступают аффиксальные морфемы (*affix*), послелоги (*postposition*) и частицы (*particle*). Аффиксальная морфема объединяет в себе несколько алломорфов (*allomorph*), которые представляют использование аффикса в тексте.

Лингвистическая часть графа с описанием аффиксальных морфем и более сложных лингвистических единиц, представляемая в данной модели, подробно описана в работе [3], поэтому в данной статье эти описания не приводятся. Весь перечисленный набор узлов графа образует множество ЛЕ ТЯ. Ребра между ними определяют правила образования более сложных ЛЕ. Данного набора ЛЕ и отношений достаточно для работы программ морфологического и синтаксического анализа и синтеза. Это подтверждает морфологический анализатор, реализованный в виде отдельного сервиса в рамках портала “Тюркская морфема”.

¹ На рисунке обозначения узлов графа представлены на английском языке для демонстрации аналогии с выше-описанными лингвистическим графами знаний

Для описания значений ЛЕ необходимы множества семантических универсалий, которые являются едиными для всех ТЯ. В роли таких семантических универсалий нами выбраны тезаурус, аналог *WordNet*, и модель типовых ситуационных фреймов, аналог *FrameNet*. В модели ГЗ ТЯ таксономическая часть графа представлена с помощью узлов графа концепт (*concept*) и онтология (*ontology*).

Связь языковых данных с семантическими универсалиями организована в разных лингвистических ресурсах, разрабатываемых в Институте прикладной семиотики АН РТ в лингвистическом портале «Тюркская морфема» и в электронном корпусе «Туган тел». В портале описываются все потенциально возможные варианты выражения значения концепта в разных ТЯ. Таким образом, в портале лексемы являются элементами словарей, а в электронном корпусе лексемы представляются в тексте и показывают связи при их использовании.

Концепты связаны между собой с помощью отношений гипонимии и гиперонимии (*Sem_relation*). Ситуационно-фреймовая часть семантических универсалий представлена узлами ГЗ ситуация (*situation*) и роль (*role*), которые объединяются в единую библиотеку ситуаций (*situation_library*).

Лингвистический ГЗ *TurkLang* подразделяется на несколько подграфов (см. рисунок 5). Такое разделение связано с назначением каждого из этих подграфов. Подграф семантических структур состоит из трёх основных компонентов:

- подграф тезаурусов – несколько таксономий, построенных по аналогии с известным лингвистическим ресурсом *WordNet* – подграф объектов, подграф действий, подграф атрибутов объектов и подграф атрибутов действий;
- подграф библиотеки типовых ситуационных фреймов, образующий фреймовые структуры для описания семантических типовых ситуаций и построенный по аналогии с известным лингвистическим ресурсом *FrameNet*;
- подграф граммем, узлами которой являются граммемы, связанные с ЛЕ и с библиотекой типовых ситуационных фреймов.

Лингвистические подграфы знаний соответствуют ТЯ. Тюркские языки на рисунке 5 пронумерованы: L1, L2, L3 и т.д. Их узлами являются ЛЕ данных языков разных языковых уровней: морфонологического, морфологического, синтаксического. Это корневые и аффиксальные морфемы, словоформы, аналитические формы, многословные выражения и т.д. Базовой ЛЕ в данных подграфах являются морфемы разного типа с разными наборами взаимосвязей.

Подграф географической сети содержит узлы, относящиеся к геоинформационным данным языков. На данный момент этот подграф находится в разработке в рамках новой диалектологической геолингвистической системы, соотносящей лингвистические единицы языков и текстовые описания с географическими регионами их распространения.

Представленный лингвистический граф ТЯ позволяет описывать использование ЛЕ в существующих текстах и потенциальные возможности языка, многие из которых могут находить редкое использование в текстах и речи.

Существующие тексты образуют в совокупности многоязычный электронный корпус ТЯ с возможностями создания и хранения различных типов лингвистической разметки: морфонологической, морфологической, синтаксической и разными типами семантической размет-

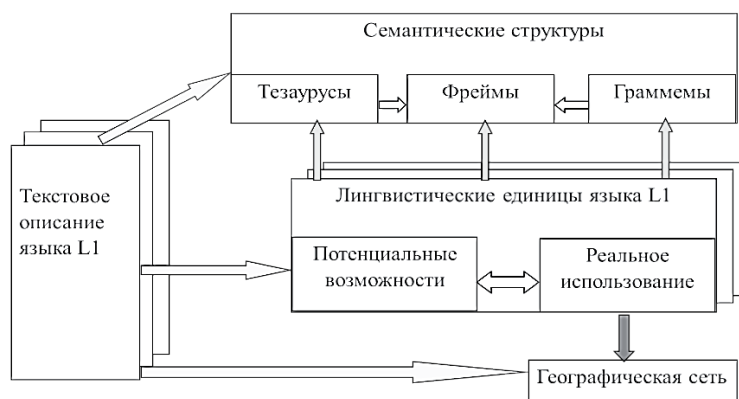


Рисунок 5 – Архитектура подграфов графа знаний *TurkLang*

ки. Использование модели лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang* позволяет представить структуру корпуса как набор электронных корпусов каждого из ТЯ, которые взаимосвязаны между собой с помощью набора семантических универсалий. Связи в этой модели осуществляются на разных языковых уровнях с помощью библиотеки типовых ситуационных фреймов на уровне отдельных морфем и на уровне предложений,

ГЗ с описанием потенциальных возможностей ТЯ служит лингвистической БЗ для создания лингвистических процессоров для обработки текстов на разных языковых уровнях. Так, фрагменты ГЗ с описанием правил следования в словоформе используются для морфологического анализатора, типовые ситуационные фреймы - для семантико-синтаксического анализатора.

3 Программные продукты на базе модели лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang*

3.1 Лингвистический портал «Тюркская морфема»

Модель лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang* положена в основу БЗ нескольких программных продуктов, разрабатываемых в Институте прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан. Впервые модель *TurkLang* была использована в качестве структуры БЗ лингвистического интернет-портала «Тюркская морфема». Этот портал представляет собой сайт (*modmorph.turklang.net*), который предоставляет доступ к набору различных web-сервисов с использованием лингвистических ресурсов, структурированных на основе модели *TurkLang*. Сервисы ориентированы на компьютерную обработку ТЯ во всех аспектах: морфологическом, морфологическом, синтаксическом, семантическом.

Сервисы можно разделить на базовые и прикладные.

- Информационно-справочная система с описанием лингвистических свойств ТЯ. Это грамматика и лексика ТЯ, представленные в виде единой модели. Лексика ТЯ представлена в виде семантического тезауруса. Справочная система структурно представляет собой некий аналог Википедии.
- ГЗ портала, как ресурсная база для лингвистических процессоров, работающих с ТЯ. Они используют разные фрагменты ГЗ.
- Набор программных модулей в виде веб-сервисов для обработки ЕЯ. Лингвистические сервисы включают лингвистические процессоры, представляющие собой анализаторы для разных языковых уровней. Основные лингвистические процессоры, реализуемые в рамках портала, — это морфологический и семантико-синтаксический анализаторы для ТЯ.
- Площадка для совместной работы и общения на тему ТЯ для специалистов, работающих с ТЯ.

Набор прикладных функций:

- инструментарий для научных исследований, например проведения сравнительных исследований ТЯ;
- инструментарий и лингвистические ресурсы для создания обучающих систем;
- инструментарий для унификации терминологии и системы тэгов для разметки электронных корпусов ТЯ.

Модель лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang* реализуется в БД портала в виде сущностей (см. рисунок 6):

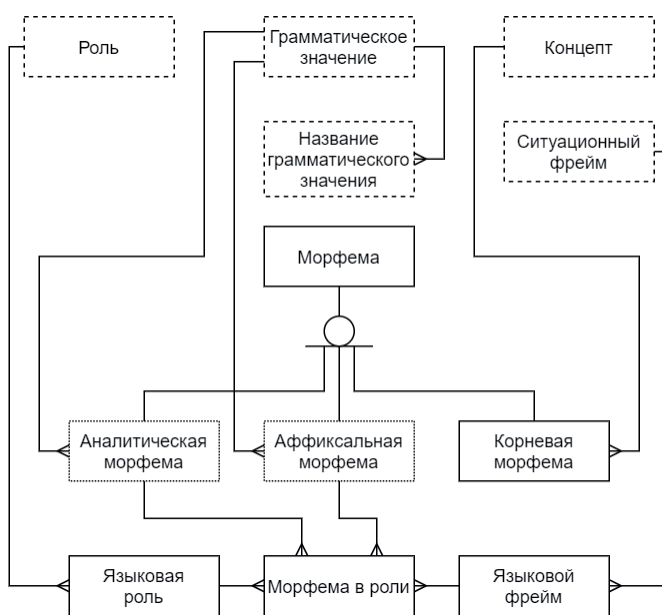


Рисунок 6 – Лингвистические подграфы знаний в базе данных портала

Аффиксальная морфема содержит информацию об аффиксах языка, выражающих грамматические значения;

Аналитическая морфема содержит информацию о частицах, послелогах и вспомогательных глаголах языка, выражающих грамматические значения;

Корневая морфема содержит информацию о корнях (леммах) языка, каждый из которых может выражать несколько значений как часть речи, связана с тезаурусом концептов;

Многословные выражения содержат информацию о неделимых словосочетаниях, выражающих целиком одно значение, связаны с тезаурусом концептов.

Языковые единицы связаны между собой морфотактическими правилами для представления морфологического уровня языка (рисунок 7).

Семантико-синтаксический уровень представлен типовыми ситуационными фреймами в языке, в которых указано, какие аффиксы требуются для выражения той или иной роли.

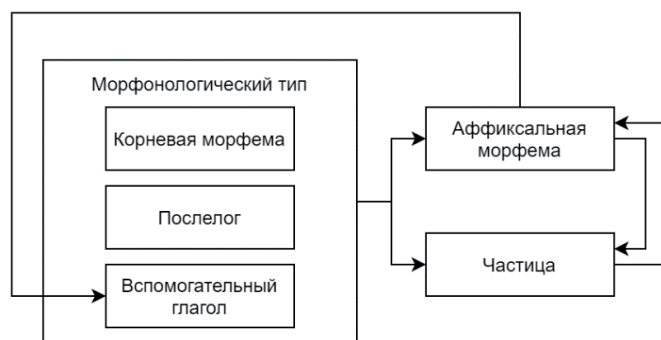


Рисунок 7 – Структура морфотактических правил

3.2 Разработка базы семантических универсалий портала «Тюркская морфема»

В модели представлено два вида семантических универсалий: тезаурус и библиотека типовых ситуационных фреймов. Анализ лингвистических ресурсов показал, что в настоящее время более полными лингвистическими ресурсами данных типов являются *WordNet* и *FrameNet*. Эти ресурсы составляют онтологическое ядро многих реальных ГЗ, вокруг которых накапливается фактографическая информация. Они приняты за основу и преобразованы с учётом структурных и лексических особенностей ТЯ.

Процесс полуавтоматического заполнения тезауруса с использованием тюркско-русских словарей, показал, что в тезаурусе *WordNet* плохо представлены разделы с описанием концептов об особенностях тюркской культуры и быта. Например, не представлены концепты, соответствующие тюркским национальным музыкальным инструментам, национальным блюдам, родственным отношениям. Данная информация была дополнена в БЗ портала. В ТЯ отсутствует ряд лексических единиц, которые соответствуют лексемам английского языка.

Тезаурус портала представлен БД концептов:

- коннекторы, выражающие союзы;
- дейктики, выражающие местоимения;
- коммуникативы, выражающие междометия и вводные слова;
- объекты выражают имена существительные, в т.ч. имена собственные;
- действия выражают глаголы;
- атрибуты объектов выражают прилагательные и причастия;
- атрибуты действий выражают наречия и деепричастия.

Концепты связаны между собой семантическими отношениями, главным из которых является иерархическое отношение, соответствующее отношению гипонимии/гиперонимии из *WordNet*.

Библиотека типовых ситуационных фреймов связывает между собой концепты (рисунок 8) по аналогии с *FrameNet* в ситуации. Каждая ситуация управляется определёнными концептами действий и состоит из набора обязательных и необязательных ролей. Данные роли могут выполняться указанными в БД концептами.

3.3 Новая версия лингвистического электронного корпуса «Туган тел»

В настоящее время разработан электронный корпус татарского языка «Туган тел», который имеет только морфологическую разметку. Существующая структура не позволяет расширить функционал корпуса для работы с синтаксической и семантической информацией.

В связи с этим начата реализация новой версии корпуса на базе модели

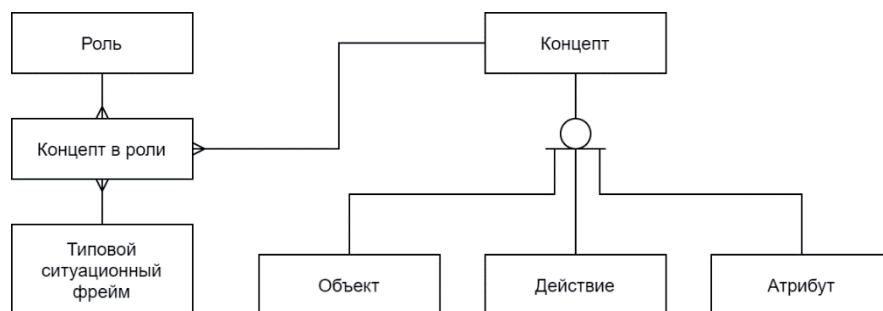


Рисунок 8 – База данных типовых ситуационных фреймов

лингвистического ГЗ ТЯ *TurkLang* с использованием графовой системой управления БД *Memgraph* (<https://memgraph.com/>). Учитывая, что лингвистический портал «Тюркская морфема» и электронный корпус «Туган тел» разрабатываются на основе общей модели, обеспечиваются совместимость этих программных продуктов, использование единой системы обозначений и тэгов. Например, в электронном корпусе используется информационно-справочная система по ТЯ портала, а портал получает из корпуса данные об использовании ЛЕ в тексте. Таким же образом интегрируются базы семантических универсалий.

На рисунке 9 представлена *ER*-диаграмма взаимодействия БД лингвистического портала «Тюркская морфема» с БД корпуса. Схема разделена на три части – общезыковую, языкозависимую и корпусную. Общезыковая и языкозависимая части содержат все элементы модели тюркской морфемы. Корпусная часть – это БД нового корпуса.

Основные сущности в корпусной части БД:

- Документ – сведения об отдельном текстовом документе корпуса;
- Предложение – данные об отдельных предложениях из текста «Документ» (могут быть простые и сложные);
- Клауза – простое предложение, состоящее из предиката (обычно выраженного глаголом) и связанных с ним аргументов;
- Синтаксема – элементарная синтаксическая единица, в рамках портала данной сущности соответствует сущности Ситуационная роль;



Рисунок 9 – *ER*-диаграмма объединения базы данных портала с корпусными данными

- Словоформа – отдельное слово, разобранные при помощи морфологического анализатора (результат анализа связывается с сущностями Корневая морфема, Аффиксальная морфема, Аналитическая морфема). Оба программных продукта объединяются в распределённую лингвистическую платформу.

Заключение

На основе разработанной модели лингвистического ГЗ *TurkLang*, соответствующей структурно-функциональным особенностям ТЯ, создан лингвистический портал «Тюркская морфема» и осуществляется разработка новой версии электронного корпуса татарского языка «Туган тел», а также электронного диалектологического атласа ТЯ.

Данная модель является универсальной для ТЯ. Структурирование данных в ней позволяет автоматически использовать программный инструментальный портал «Тюркская морфема» или электронного корпуса «Туган тел». БД портала позволяют с помощью алгоритмов, основанных на правилах, производить аугментацию наборов данных для ТЯ, которые в дальнейшем могут использоваться для обработки ЕЯ и улучшения качества прикладных программ.

Список источников

- [1] *Krauwer S.* The basic language resource kit (BLARK) as the first milestone for the language resources roadmap // In: Proc. International Workshop “Speech and Computer” SPECOM 2003 (Moscow, Russia, October 27-29, 2003). Moscow, 2003. P.8-15.
- [2] *Гузев В.Г.* О некоторых экзотических особенностях тюркских языков («тюркские чудеса») // Актуальные проблемы мировой политики. 2020. Вып. 10. С.231-245. DOI: 10.21638/11701/26868318.16.
- [3] *Сулейманов Д.Ш., Гильмуллин Р.А., Гатиатуллин А.Р., Прокопьев Н.А.* Когнитивный потенциал естественных языков агглютинативного типа в интеллектуальных технологиях // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №4(50). С.496-506. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-496-506
- [4] Большая российская энциклопедия, 3-е изд., т. 1. Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. энциклопедия, 1969. С.177.
- [5] *Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., d’Amato C., de Melo G., Gutierrez C., Gayo J.E.L., Kirrane S., Neumaier S., Pollere A.* Knowledge graphs // ACM Computing Surveys (CSUR). 2021. Vol. 54(4). P.1-37. DOI: 10.1145/3447772.
- [6] *Fensel D., Şimşek U., Angele K., Huaman E., Kärle E., Panasiuk O., Toma I., Umbrich J., Wahler A.* Knowledge Graphs: Methodology, Tools and Selected Use Cases. Cham: Springer Cham, 2020. 164 p. DOI: 10.1007/978-3-030-37439-6.
- [7] *Ji S., Pan S., Cambria E., Marttinen P., Yu P.S.* A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition, and Applications // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2021. Vol. 33(2). P.494-514. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3070843.
- [8] *Ehrlinger L., Wöß W.* Towards a definition of knowledge graphs // In: Proc. Posters and Demos Track of 12th International Conference on Semantic Systems SEMANTiCS2016 and 1st International Workshop on Semantic Change & Evolving Semantics SuCCESS'16 co-loc. 12th International Conference on Semantic Systems SEMANTiCS 2016 (Leipzig, Germany, September 12-15, 2016). CEUR Workshop Proceedings, 2016..Vol 1695,
- [9] *Pan J.Z., Vetere G., Gomez-Perez J.M., Wu H.* Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organizations. Cham: Springer Cham, 2017. 266 p. DOI: 10.1007/978-3-319-45654-6.
- [10] *Lawrynowicz A.* Semantic data mining: an ontology-based approach. Studies on Semantic Web, vol. 29. Amsterdam: IOS Press, 2017. 194 p. DOI: 10.3233/978-1-61499-746-7-i.
- [11] *Ahmed A., Al-Masri N., Abu Sultan Y.S., Akkila A.N., Almasri A., Mahmoud A.Y., Zaqout I.S., Abu Naser S.S.* Knowledge-based systems survey // International Journal of Academic Engineering Research (IJAER). 2019. Vol. 3(7). P.1-22.
- [12] *Basile P., Cassotti P., Ferilli S., McGillivray B.* New Time-sensitive Model of Linguistic Knowledge for Graph Databases // In: Proc. 1st Workshop on Artificial Intelligence for Cultural Heritage co-loc. 21st International

Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence AIxIA 2022 (Udine, Italy, November 28, 2022). CEUR Workshop Proceedings, vol. 3286, 2022. P.69-80.

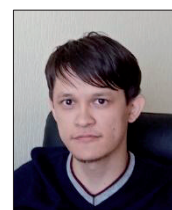
- [13] **McCrae J.P., Spohr D., Cimiano P.** Linking lexical resources and ontologies on the semantic web with Lemon // In: G. Antoniou, M. Grobelnik, E.P.B. Simperl, B. Parsia, D. Plexousakis, P.D. Leenheer, J.Z. Pan (eds.): The Semantic Web: Research and Applications. Proc. 8th Extended Semantic Web Conference ESWC 2011 Part I (Heraklion, Greece, May 29 - June 2, 2011). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6643. Berlin Heidelberg: Springer, 2011. P.245-259. DOI: 10.1007/978-3-642-21034-1_17.
-

Сведения об авторах



Гатиатуллин Айрат Рафизович, 1972 г. рождения. Окончил Казанский государственный университет в 1994 г., к.т.н. (2002). Ведущий научный сотрудник Института прикладной семиотики Академии наук Республики Татарстан. В списке научных трудов более 60 работ. ORCID: 0000-0003-3063-8147; Author ID (РИНЦ): 161758; Author ID (Scopus): 56500678000. ayrat.gatiyatullin@gmail.com ✉.

Прокопьев Николай Аркадиевич, 1992 г. рождения. Окончил Институт вычислительной математики и информационных технологий Казанского федерального университета в 2015 году. Научный сотрудник Института прикладной семиотики Академии наук РТ. В списке научных трудов около 40 работ. ORCID: 0000-0003-0066-7465; Author ID (РИНЦ): 999214; Author ID (Scopus): 57190803409; Researcher ID (WoS): S-3829-2016. nikolai.prokopyev@gmail.com.



Сулейманов Джавдет Шевкетович, 1955 г. рождения. Окончил механико-математический факультет Казанского государственного университета в 1977 г., к.т.н. (1985), д.т.н. (2000). Научный руководитель Института прикладной семиотики Академии наук РТ, академик АН РТ, профессор. Заслуженный деятель науки РТ, член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 300 работ в области прикладной семиотики, компьютерной и когнитивной лингвистики, искусственного интеллекта. Author ID (РИНЦ): 9142; Author ID (Scopus): 6603474810; Researcher ID (WoS): B-4793-2014. dvdtslt@gmail.com.

Поступила в редакцию 13.06.2024, после рецензирования 15.07.2024. Принята к публикации 22.07.2024.



Model of linguistic knowledge graphs of Turkic languages

© 2024, A.R. Gatiatullin ✉, N.A. Prokopyev, D.S. Suleymanov

Tatarstan Academy of Sciences, Institute of Applied Semiotics, Kazan, Russia

Abstract

The article describes the TurkLang model of the linguistic knowledge graph for Turkic languages, which underpins software products for processing these languages. The model's core elements are morphemes, the smallest meaningful units of language. It captures the properties of morphemes across morphonological, morphological, syntactic, and semantic levels. This model is particularly well-suited to the structural and functional characteristics of Turkic languages, which are agglutinative, offering a comprehensive and pragmatically oriented description of their capabilities and textual manifestations. The model's properties are applied in semantic text processing software, including the "Turkic Morpheme" linguistic portal and the updated Tatar language electronic corpus "Tugan Tel." The unified TurkLang model ensures full compatibility across software products for Turkic languages and standardizes the concepts and terms used in linguistic research. This is important for Turkic languages, as many existing models are based on languages with different structures (like English or Russian) and fail to fully address the communicative, cognitive, and lexical-grammatical features of Turkic languages.

Keywords: knowledge graph, Internet portal, linguistic unit, morpheme, Turkic language.

For citation: Gatiatullin AR, Prokopyev NA, Suleymanov DS. Model of linguistic knowledge graphs of Turkic languages [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 366-378. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-366-378.

Financial Support: This work was supported by the Russian Science Foundation (project 24-21-00453).

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

List of figures

- Figure 1 – Knowledge metagraph
- Figure 2 – Model of linguistic knowledge graph [11]
- Figure 3 – Model of *Lemon* linguistic knowledge graph [12]
- Figure 4 – Model of linguistic knowledge graph *TurkLang* for Turkic languages
- Figure 5 – Architecture of subgraphs of *TurkLang* knowledge graph
- Figure 6 – Linguistic knowledge subgraphs in the portal database
- Figure 7 – Structure of morphotactic rules
- Figure 8 – Database of typed situational frames
- Figure 9 – ER-diagram of corpus data and portal database integration

References

- [1] **Krauwer S.** The basic language resource kit (BLARK) as the first milestone for the language resources roadmap. In: Proc. International Workshop "Speech and Computer" SPECOM 2003 (Moscow, Russia, October 27-29, 2003). Moscow, 2003: 8-15.
- [2] **Guzev VG.** About some exotic features of Turkic languages («Turkic miracles») [In Russian]. *Digest of World Politics*. 2020; 10: 231-245. DOI: 10.21638/11701/26868318.16.
- [3] **Suleymanov DS, Gilmullin RA, Gatiatullin AR, Prokopyev NA.** Cognitive potential of agglutinative languages in intelligent technologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(4): 496-506. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-496-506.
- [4] Great Russian Encyclopedia, 3rd ed., vol. 1. A.M. Prokhorov (ed.). Moscow.: Soviet encyclopedia, 1969. P.177, col.505.
- [5] **Hogan A, Blomqvist E, Cochez M, d'Amato C, de Melo G, Gutierrez C, Gayo JEL, Kirrane S, Neumaier S, Pollere A.** Knowledge graphs. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2021; 54(4): 1-37. DOI: 10.1145/3447772.

- [6] **Fensel D, Şimşek U, Angele K, Huaman E, Kärle E, Panasiuk O, Toma I, Umbrich J, Wahler A.** Knowledge Graphs: Methodology, Tools and Selected Use Cases. Cham: Springer Cham, 2020. 164 p. DOI: 10.1007/978-3-030-37439-6.
 - [7] **Ji S, Pan S, Cambria E, Marttinen P, Yu PS.** A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition, and Applications. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2021; 33(2): 494-514. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3070843.
 - [8] **Ehrlinger L, Wöß W.** Towards a definition of knowledge graphs. In: Proc. Posters and Demos Track of 12th International Conference on Semantic Systems SEMANTiCS2016 and 1st International Workshop on Semantic Change & Evolving Semantics SuCCESS'16 co-loc. 12th International Conference on Semantic Systems SEMANTiCS 2016 (Leipzig, Germany, September 12-15, 2016). CEUR Workshop Proceedings, vol 1695, 2016.
 - [9] **Pan JZ, Vetere G, Gomez-Perez JM, Wu H.** Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organizations. Cham: Springer Cham, 2017. 266 p. DOI: 10.1007/978-3-319-45654-6.
 - [10] **Lawrynowicz A.** Semantic data mining: an ontology-based approach. Studies on Semantic Web, vol. 29. Amsterdam: IOS Press, 2017. 194 p. DOI: 10.3233/978-1-61499-746-7-i.
 - [11] **Ahmed A, Al-Masri N, Abu Sultan YS, Akkila AN, Almasri A, Mahmoud AY, Zaqout IS, Abu Naser SS.** Knowledge-based systems survey. *International Journal of Academic Engineering Research (IJAER)*. 2019; 3(7): 1-22.
 - [12] **Basile P, Cassotti P, Ferilli S, McGillivray B.** New Time-sensitive Model of Linguistic Knowledge for Graph Databases. In: Proc. 1st Workshop on Artificial Intelligence for Cultural Heritage co-loc. 21st International Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence AIXIA 2022 (Udine, Italy, November 28, 2022). CEUR Workshop Proceedings, vol. 3286, 2022: 69-80.
 - [13] **McCrae JP, Spohr D, Cimiano P.** Linking lexical resources and ontologies on the semantic web with Lemon // In: G. Antoniou, M. Grobelnik, E.P.B. Simperl, B. Parsia, D. Plexousakis, P.D. Leenheer, J.Z. Pan (eds.): The Semantic Web: Research and Applications. Proc. 8th Extended Semantic Web Conference ESWC 2011 Part I (Heraklion, Greece, May 29 - June 2, 2011). Lecture Notes in Computer Science, vol 6643. Berlin Heidelberg: Springer, 2011: 245-259. DOI: 10.1007/978-3-642-21034-1_17.
-

About the authors

Ayrat Rafizovich Gatiatullin (b. 1972) graduated from Kazan State University in 1994, PhD (2002). Leading researcher at the Institute of Applied Semiotics of Tatarstan Academy of Sciences. List of scientific works includes more than 60 works. ORCID: 0000-0003-3063-8147; Author ID (RSCI): 161758; Author ID (Scopus): 56500678000. ayrat.gatiatullin@gmail.com ✉.

Nikolai Arkadievich Prokopyev (b. 1992) graduated from the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of Kazan Federal University in 2015. Researcher at the Institute of Applied Semiotics of Tatarstan Academy of Sciences. List of scientific works includes about 40 works. ORCID: 0000-0003-0066-7465; Author ID (RSCI): 999214; Author ID (Scopus): 57190803409; Researcher ID (WoS): S-3829-2016. nikolai.prokopyev@gmail.com.

Dzhavdet Shevketovich Suleymanov (b. 1955) graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics of Kazan State University in 1977, PhD (1985), Doctor of Technical Sciences (2000). He is the scientific director at the Institute of Applied Semiotics of Tatarstan Academy of Sciences, an academician of Tatarstan Academy of Sciences, a professor, an Honored Scientist of the Republic of Tatarstan, and a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI). The list of scientific works includes more than 300 works in the field of applied semiotics, computer and cognitive linguistics, artificial intelligence, electronic and social pedagogy. Author ID (RSCI): 9142; Author ID (Scopus): 6603474810; Researcher ID (WoS): B-4793-2014. dvdts.lt@gmail.com.

Received June 13, 2024. Revised July 15, 2024. Accepted July 22, 2024.



Онтология нового термина

© 2024, Ю.В. Сложеникина^{1,2} ✉, А.С. Зайцева³

¹ Университет «Синергия», Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация

Актуальность исследования связана с государственной политикой научно-технологического развития Российской Федерации, приоритетными направлениями которой являются информационные технологии, искусственный интеллект и др., а также с государственной языковой политикой в области терминологии, направленной на регулирование процессов отбора терминов, унификацию формирующихся, развивающихся либо существующих терминологий, лексикографическую кодификацию терминов. Появление новых технологий вызывает увеличение числа новых обозначений в профессиональных дискурсах, которые впоследствии кодифицируются в специальных словарях, справочниках, стандартах. Некоторые новые термины становятся общеупотребительными и попадают в словари для широкого использования. Материалом для исследования послужили новые лексемы узкоспециального значения, кодифицированные на цифровом научно-информационном академическом ресурсе «Академос». За 2023 год словарь ресурса пополнился более чем 200 наименованиями. Выявлены шесть онтологических тенденций фиксации специальной лексики: гнездование терминов, кодификация прилагательных с узкоспециальным значением, кодификация номенклатуры, устранение формальной вариантности терминов, фиксация несвободных словосочетаний ограниченного употребления, рост количества сложных терминов и аббревиатур. Анализ показал, что новые термины являются основным источником пополнения современного русского языка, объектом его рефлексии и кодификации. В обществе существует запрос на нормализацию специальной лексики, поскольку она является неотъемлемой частью профессиональных коммуникаций. Благодаря возможностям цифровизации создан информационный канал, связывающий пользователя русского языка, эксперта-орфографа и орфографический ресурс. Эксперт в профессиональной сфере имеет возможность задать вопрос или отправить комментарий эксперту-орфографу (например, на интернет-портал «Грамота.ру»), привнося профессиональную экспертизу в процесс отбора и кодификации новых терминов. Экспертные комментарии лингвистов-орфографов могут быть востребованы при проектировании онтологий предметных областей. Объединение возможностей и преимуществ естественной и формальной логик может способствовать более точному и эффективному проектированию онтотерминологий.

Ключевые слова: термин, профессиональная лексика, предметная область, словарь, номенклатура, вариантность терминов, кодификация терминов.

Цитирование: Сложеникина Ю.В., Зайцева А.С. Онтология нового термина // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С. 379-390. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-379-390.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Приоритетные направления научно-технологического развития Российской Федерации в сфере информационных технологий сформулированы в ряде государственных нормативно-правовых актов [1-3]. В них подчеркивается, в частности, «необходимость разработки и уточнения терминов и определений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники», «важность проведения работы по построению и гармонизации онтологии предметной области» (ПрО) [4]. Государственная языковая политика в области терминологии рассматривается как «особый род метаязыковой деятельности», «активно развивающаяся и

важное направление в рамках языковой политики государства». Термин «государственная терминологическая политика» включает «комплекс мер и мероприятий, направленных на регулирование процессов отбора терминов, унификацию формирующихся, развивающихся либо существующих терминологий (включая упорядочение, стандартизацию, гармонизацию) и лексикографическую кодификацию терминов [5]. Основой для реализации этих действий на уровне государства, региона, отрасли или отдельного предприятия является национальный стандарт [6]. Порядок разработки стандартов установлен в Федеральном законе [7] и в стандарте [8].

Создание терминосистемы является сложной и трудоёмкой задачей. Построение терминологических онтологий важно для обеспечения процессов технологического развития, обмена информацией для достижения взаимопонимания и сотрудничества, и поэтому вызывает интерес у широкого круга специалистов, которые вносят свой вклад в разработку принципов и методики построения онтологий терминов. Это подтверждается рядом научных публикаций, посвящённых терминологической онтологии [9-11].

Появление новых технологий, машин и механизмов вызывает увеличение числа новых обозначений в профессиональных дискурсах, которые впоследствии становятся новыми терминами и кодифицируются в специальных словарях, справочниках, стандартах, что свидетельствует об усложнении профессиональной языковой картины мира в целом. Некоторые из них выходят за пределы профессионального дискурса, становятся общеупотребительными и попадают в словари для широкого использования. В неологии выделяются два основных направления: исследование специфики обновления словарного состава языка (неологизм как объект неологии); выявление и изучение проблематики, связанной с лексикографированием неологизмов (неологизм как объект неографии) [12-14]. Материалом для исследования послужили новые языковые единицы узкоспециального значения, кодифицированные на цифровом научно-информационном академическом ресурсе «Академос» Института русского языка им. В.В. Виноградова РАН [15]. Основной частью ресурса является «Русский орфографический словарь» под редакцией В.В. Лопатина, один из 30-ти авторитетных словарей русского языка. По решению Совета Федерации он включен в государственную информационную систему «Национальный словарный фонд» [16, 17]. Цифровой ресурс «Академос» пополняется новыми словами в режиме реального времени. Поэтому он шире, чем словарь [17]. Внедрение новых цифровых практик в словарное дело позволило максимально сократить время между узуализацией (процессом закрепления в языке нового слова или выражения) и кодификацией (фиксацией в словаре) слова. Благодаря этому стало возможным быстро на верифицированном материале проанализировать основные тенденции развития русского языка за рассматриваемый период. Исследование касается одного наблюдения – пополнения общеупотребительного словаря специальной лексикой, т.е. лексикой ограниченного употребления, связанной с профессиональной деятельностью человека.

В предисловии к первому изданию словаря отмечено, что «значительное место в словаре занимает специальная терминология различных областей научного знания и практической деятельности» [17]. Эта же тенденция сохранилась в последующих переизданиях словаря. Причиной расширения словника за счёт специальной лексики стал тот факт, что её употребление активизировалось и вышло «за рамки узкоспециальных текстов», поэтому «нормативный орфографический облик этих слов должен фиксироваться не только в специальных терминологических словарях» [18]. Современный научно-популярный текст приобрёл качество гибридности, а его читатель перестал характеризоваться как непосвящённый. Усложнение социальной структуры общества и организации науки нашло отражение и в усложнении самого научно-популярного дискурса [19].

Широкий круг читательской аудитории составляют читатели-пропоненты и оппоненты с высоким уровнем пропозиционной осведомлённости и владения языком. Поэтому включение терминологической лексики в словари – логичное и объективное следствие [20].

На ресурсе «Академос» [15] в 2023 г. зарегистрирован термин *несъедаемость*. Данной единицы в общелитературном языке не существует, термин был предложен для нужд Роспотребнадзора и создан морфологическим способом. Его возникновение датируется 2020 г., когда был принят закон об обеспечении младших школьников бесплатным качественным и здоровым питанием. Был введён термин *несъедаемость*, т.е. количество приготовленной, но не употреблённой еды. В основном слово употребляется в терминологическом сочетании *индекс несъедаемости*.

В сфере образования появилось новое обозначение *профессионалитет* – это инновационная форма сотрудничества образовательных организаций и работодателей в формате образовательно-индустриальных кластеров, объединённых общностью образовательных программ, которые реализуются под конкретный заказ работодателей с их непосредственным участием. Термин возник в связи с Постановлением Правительства РФ от 16.03.2022 г. № 387 «О проведении эксперимента по реализации образовательных программ среднего профессионального образования в рамках федерального проекта «Профессионалитет».

В архитектуре и дизайне закрепился термин *рустик* (от лат. *rusticus*, букв. «деревенский»; производное от *rus* — деревня; «простой», «грубый», «неотёсанный») – это название стиля, максимально приближенного к природе; стиль, ориентированный на простоту, экологичность применяемых материалов, сдержанную натуральную цветовую палитру, обилие свободного пространства и чистого воздуха.

Новые обозначения могут внедряться с целью замены названий, не отвечающих современным социальным запросам или общественным практикам. Например, термин *тишью* (от англ. *tissue paper* - папиросная бумага) – это тонкая полупрозрачная бумага, применяемая при упаковке цветочных букетов, подарков. Привычное название этой бумаги – папиросная, но парадигма здорового образа жизни предполагает отказ от курения.

1 Онтологические тенденции появления новых терминов

На рисунке 1 показаны современные онтологические тенденции фиксации специальной лексики.

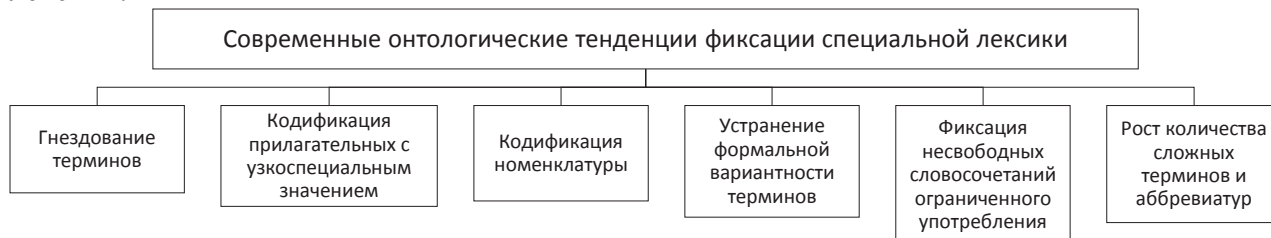


Рисунок 1 – Современные онтологические тенденции фиксации специальной лексики

1.1 Гнездование терминов

Гнездование терминов является характерным признаком отраслевых терминологий [21]. Однако подходы к определению состава терминологического гнезда (ТГ) разнятся. При широком подходе ТГ уподобляется гнезду однокоренных слов общеупотребительного языка [22]. Такой подход демонстрирует деривационный потенциал производных лексем и терминологических элементов, но противоречит эволюции научной мысли, связанной с расширением и углублением представлений о некой специальной сущности [23, 24]. В словообразовательном гнезде при последовательном словопроизводстве может не происходить лексико-семантических трансформаций (*обеспечение* – это действие по глаголу *обеспечить*). В то время как развитие термина связано с приращением новых смыслов: «Формирование ТГ – это конкретизация понятия, семантизация и лексикализация его периферийных долей, углубление представлений о некоторой сути, движение от общего к частному в пределах одной сущности» [23]. Таким образом, при узком подходе к пониманию ТГ оно рассматривается как совокупность специальных лексем в пределах одного понятия.

Представляется, что разграничение широкого и узкого подходов к выделению ТГ важно для терминологических словарей, построенных по гнездовому принципу. Орфографический словарь не имеет гнездовой структуры, но даёт представление о том, что зачастую термины входят в язык не по одному, а сразу целой совокупностью родственных слов: *папилломавирус, папилломавирусный; гелирование, гелеобразный; нейросеть, нейросетевой; энолог, энология*. Наблюдаются и более развёрнутые ТГ, одно из которых представлено на рисунке 2 (составлено на основе [15]).

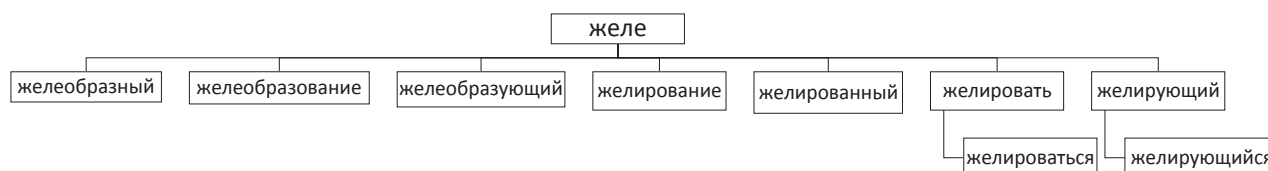


Рисунок 2 – Термины в составе ТГ с вершиной «желе»

Процесс параллельного словопроизводства отмечен в предисловии к словарю [25]. «Словообразование сейчас имеет лавинообразный характер, новые производные слова... входят в речевое употребление... стремительно, одномоментно, когда в соответствии с потребностями языкового коллектива в обиход входит целое словообразовательное гнездо». Данная тенденция стала характерной и для профессионального дискурса.

1.2 Кодификация прилагательных с узкоспециальным значением

Современное состояние науки и технологий связано с углублением, детализацией научных понятий, совершенствованием техники и технологий, появлением новых феноменов на стыке наук, где многие термины «обрастают» видовыми обозначениями-конкретизаторами. Основным способом терминообразования сейчас является синтаксический – под ним подразумевается создание специальных словосочетаний, выраженных в т.ч. именами прилагательными. В [23] разработано положение о двух когнитивных точках референции термина-словосочетания. В терминологиях нового времени основным по продуктивности является заимствование уже готовых терминов из других терминосистем с одновременной когнитивной обработкой, концептуальным смещением: «В новых терминах актуализируется периферийная зона, добавляются новые уточняющие видовые признаки, которые обладают потенциальной возможностью выдвижения на первый план семантики термина» [26].

В термине-словосочетании возникают две когнитии: первая остаётся за базовым (ключевым) термином – именем существительным, а вторая образуется в области видового имени прилагательного. Без этого уточняющего терминологического элемента новые слова не могли бы стать принадлежностью конкретного терминологического поля. Именно появление второй когнитии способствует формированию и обособлению новых терминологий.

На ресурсе «Акдемос» [15] в 2023 г. зафиксировано большое количество имён прилагательных, значение которых трудно считать общеупотребительным:

агроинновационный, беломясый, густотканый, желтомясый, измерительно вычислительный, измерительно регулирующий, измерительно трансформаторный, кортикостероидный, красномясый, масляно-заварной, медножильный, нейросетевой, папилломавирусный, полиорганный, пускозарядно-диагностический, пускозарядный, стержнекорневой, уходовый, чемпионатный, чисто мажоритарный, эпико лирический, эпико мифологический, этилацетатный, этилбензольный, этилцеллюлозный – это группа относительных прилагательных.

Гелеобразный, герпесвирусный, гиперъяркий, густомахровый, густопенный, желеобразный, короткокорневищный, кросс-функциональный, местнорефлекторный – качественные прилагательные.

К специальным видовым обозначениям можно отнести и причастия узкоограниченной семантики: *адресообразующий, желеобразующий, железирующий(ся), местноанестезирующий, самозакусывающийся* – действительные; *густоопушённый, железированный, легкоукореняемый местнопочитаемый, сильнопересечённый, трудноукореняемый* – страдательные.

На рисунке 3 схематично показаны основные способы выражения терминологических спецификаторов, формирующих вторую когнитивную единицу в термине. Пополнение словаря обозначенными морфологическими разрядами слов свидетельствует о том, что неологизация происходит за счёт слов, относящихся к профессиональной языковой картине мира.



Рисунок 3 – Способы выражения терминологических спецификаторов

1.3 Кодификация номенклатуры

Среди специальной лексики выделяется ряд групп: термины; номенклатурные обозначения; профессионализмы; жаргонизмы. Номенклатура (от лат. *nomenclatura* – перечень, список, роспись имен) – совокупность специальных названий, употребляющихся в данной научной области, наименования типичных объектов науки [27]. Если термин называет общее понятие, то номен – частное, предметное значение в нём преобладает над понятийным. Номены считают следующим этапом развития терминологии, необходимым «для лёгкого создания большого количества конкретных наименований» [28].

Человечество переживает «номенклатурный взрыв», современные люди живут в мире номенклатуры – названий сортов, марок, артикулов [29]. Процесс создания предметного мира становится всё более интенсивным – появляются номены-неологизмы.

Например, в соответствии с Приказом Минобрнауки Московской области от 11.03.2008 N 409 «Об апробации модельной методики формирования системы оплаты труда и стимулирования работников общеобразовательных учреждений в Московской области, реализующих программы начального общего, основного общего, среднего (полного) общего образования», в педагогическую практику вошло обозначение *ученико-час* – это расчётная величина, устанавливаемая каждой школой самостоятельно на каждый учебный год в соответствии с методикой расчёта, и обозначающая стоимость одного часа работы учителя с одним учеником. Такую единицу измерения закономерно отнести к номенклатуре. Поскольку слово является актуальной мерой учительского труда, оно получило словарную статью в ресурсе [15] в 2023 г.

Тенденция нового времени – фиксация номенклатурных обозначений:

альциона (птица), *вельш-корги*, *вельш-корги-кардиган*, *вельш-корги-пемброк*, *вельш-спрингер-спаниель*, *жардиньер* (блюдо), *корги*, *папилломавирус*, *пропан-бутан*, *тубоотит*, *чихуахуа*, *Акварида* (метеорный поток), *Арбат*, *Большая комета 1680 года*, *Большой Устьинский мост*, *Геминиды* (метеорный поток), *Герасименко*, *комета Чурюмова – Герасименко*, *Дракониды*, (метеорный поток), *Кассиопеиды* (метеорный поток), *Ла-Нинья*, *Майские Акварида* (метеорный поток), *Малый Устьинский мост*, *Мира* (астр.), *Рей* (мифол.; астр.), *Ригель* (астр.), *Розеттский камень*, *Титан* (астр.), *Урсиды* (метеорный поток), *Малый Устьинский мост* [15].

Перечисленные единицы относятся к кинологической, орнитологической, астрономической, кулинарной, медицинской, химической, топонимической номенклатуре.

1.4 Устранение формальной вариантности терминов

Поскольку терминология является частью человеческого языка, в ней заложен потенциал языкового развития, который реализуется, например, через формальную (и/или семанти-

ческую) вариативность. Авторы словарей должны быть последовательны в переименованиях, использовать однотипную модель, ориентироваться на действующие «Правила русской орфографии и пунктуации» [30] и на академический справочник «Правила русской орфографии и пунктуации» [31]. Нормализаторы лексики в максимальной степени пытаются устранить варьирования в практике составления словарей.

В соответствии с грамматикой русского языка, сложные существительные, обозначающие научные, технические, общественно-политические термины, такие как *автомат-укладчик*, *кран-балка* и т.п., пишутся через дефис без соединительной гласной. Однако в редакции на ресурсе [15] 2023 г. видно, что некоторые сложные существительные стали писаться слитно (герпесвирус, папилломавирус и др.). Слитно пишутся образованные от них прилагательные (герпесвирусный, папилломавирусный). Таким образом, наблюдается тенденция к предпочтению слитного написания дефисному.

1.5 Фиксация несвободных словосочетаний ограниченного употребления

На стыке лексикологии и синтаксиса выделяют несвободные словосочетания разной степени переходности [32]. В группу таких сочетаний включают сочетания количественно-именные, с неопределённым значением, приблизительного количества, с отрицательным, обобщающим значением и некоторые другие. Возникновение всё большего количества специальных дискурсов привело к появлению устойчивых форм, которые можно характеризовать как шаблонные. В словник [15] включены словосочетания терминологического характера, имеющие ограниченное хождение в языке. Можно выделить несвободные сочетания с главным словом, выраженным:

- прилагательным: *дважды перистый, дважды перисто-сложный, двусторонне облиственный, инвестиционно привлекательный, санкционно независимый*;
- причастием: *двусторонне направленный, двусторонне оббитый, двусторонне обработанный, двусторонне обязывающий (договор), двусторонне окрашенный, двусторонне отстоящий, двусторонне ретушированный, двусторонне согласованный, местно применяемый, объёмно-детонирующий, односторонне действующий, односторонне обязывающий, односторонне окрашенный, односторонне освещённый*;
- существительным: *бумага тишью, капитан первого ранга, капитан 1-го ранга, капитан I ранга, капитан первого ранга - инженер, капитан 1-го ранга - инженер, капитан I ранга – инженер, старшина первой статьи, старшина 1-й статьи, старшина 1 статьи, стиль рустик*.

1.6 Рост сложных терминов и аббревиатур

Сложные слова удовлетворяют потребность в новых словах, при этом соответствуют закону экономии языковых средств, позволяют выразить сразу несколько идей в одной форме [33]. Анализ морфемной структуры лексем, зафиксированных на ресурсе [15] в 2023 г., показывает, что практически все прилагательные и причастия имеют неодносоставную основу. Много сложных слов и среди имен существительных:

благополучатель, бригаденфюрер, вельш-корги, вельш-корги-кардиган, вельш-корги-пемброк, вельш-спрингер-спаниель, герпесвирус, датасет, джин-тоник, желеобразование, зиплок-пакет, инофон, каподастр, косплеер, карго-культ, косплей, кросскузен, кросс-функция, маркетплейс, медиакарта, мурал-арт, народосбережение, нейросеть, папилломавирус, плазмаферез, почтомат, прокси-война, пропан-бутан, сваекрут, тубафон, тубоотит, ученико-час, фотовидеофиксация, чихуахуа, энолог, энология.

Установлено, что все зафиксированные аббревиатуры связаны с профессиональными полями: *ДРГ* (диверсионно-разведывательная группа), *ИИ* (искусственный интеллект), *ИТ-профессия*, *ИТ-сфера*, *медизделие*, *ПЗУ* (постоянное запоминающее устройство; переговорно-запорное устройство; пускозарядное устройство), *продэмбарго*, *ФАП* (фельдшерско-акушерский пункт). Новые зафиксированные слова имеют разное время пребывания в языке и относятся к разным ПрО.

2 Дискуссия

Специалисты конкретных ПрО, вникая в проблемы неологии, терминологии, терминографии, задаются вопросами: не являются ли вышеанализируемые лексемы инфошумом; если являются, то необходима ли «очистка» русского языка от инфошума, какие могут быть использованы методы и фильтры, предохраняющие язык от «загрязнения»; какова судьба таких слов по отношению к словарям русского языка? Существенным для специалистов является вопрос об отношении подобных слов к онтологиям ПрО, основанным на терминах и понятиях ПрО, поскольку качество онтологий и тезаурусов ПрО существенно влияет на адекватную коммуникацию с информационной системой, разрабатываемой для решения задач в каждой ПрО. Можно предложить несколько лингвистических комментариев.

Во-первых, цифровой научно-информационный академический ресурс «Академос» и Русский орфографический словарь - не одно и то же. Они соотносятся по принципу целого и части и имеют разную степень авторитетности. Традиционно наиболее авторитетным источником является печатный словарь. Русский орфографический словарь выдержал несколько переизданий. В первом издании словаря 1999 г. содержалось около 160 000 слов. К настоящему времени состоялось несколько переизданий словаря, дополненными среди которых были второе, 2005 г., (плюс около 20 000 слов) и четвертое, 2012 г., (плюс около 20 000 слов) переиздания. Словарь давно не переиздавался в дополненном виде. Цифровой ресурс не позиционируется как словарь, что позволяет ему быть вариативным, подвергаться коррекциям. Если состоится новое дополненное переиздание печатного словаря, то все новые термины будут рассмотрены на предмет их вхождения в активный словарь русского языка. Прежде чем войти в орфографический словарь (обрести свою словарную статью), термин подвергается внимательному изучению членами Орфографической комиссии РАН, наиболее авторитетного экспертного органа по вопросам русского правописания. Малоупотребительные лексемы обычно остаются за пределами словаря русского языка.

Во-вторых, внимание к подобного рода словам вызвано профессиональными коммуникациями, в т.ч. необходимостью составления деловых документов. Зачастую специалисты не могут найти информацию об узкоспециальном слове и обращаются за помощью к орфографистам. На протяжении всей истории существования орфографической комиссии с 1904 года она получает обращения с вопросами по поводу написания слов и даёт свои рекомендации. Это важный канал связи с обществом, позволяющий в той или иной степени отслеживать языковые тенденции. Сегодня, благодаря возможностям цифровизации, в частности, интернет-порталу «Грамота.ру», скорость этого канала связи существенно возросла, выстроилась оперативная коммуникативная цепочка: пользователь русского языка – эксперт-орфографист – словарь. Теперь пользователь русского языка (эксперт в ПрО) имеет возможность оперативно задать свой вопрос или отправить комментарий эксперту-орфографисту, таким образом привнося широкую профессиональную экспертизу в процесс отбора и кодификации новых терминов. Экспертные комментарии лингвистов-орфографистов могут быть востребованы при проектировании онтологий ПрО. Объединение возможностей и преимуществ естественной и формальной логик может способствовать более точному и эффективному проектированию онтотерминологий.

В-третьих, специалисты ПрО могут выбрать одну из теоретических позиций: либо терминология является обособленной системой, и в ней действуют специфические языковые законы и правила; либо это составная часть русского литературного языка с доминированием общезыковых законов. Первая точка зрения восходит к классику отечественного терминоведения Г.О. Винокуру и разделяется рядом современных учёных. Это значит, что профессионалы обладают достаточными возможностями для самостоятельного конструирования онтологий ПрО и их кодификации.

XXI век в отношении науки и техники характеризуется несколькими трендами, среди которых – «прикладизация» фундаментальных наук и увеличение доли междисциплинарных исследований. Возникновение новых научно-технических кластеров сопровождается формированием соответствующих терминологических полей – сначала стихийно складывающихся, затем постепенно упорядочивающихся в специальной литературе – профессиональных словарях, справочниках, стандартах. Создавая новую терминосистему ПрО, важно соблюсти алгоритм её производства. Новый термин должен быть вписан в матрицу конкретной ПрО, быть носителем строго определённого знания. Поэтому основной этап – моделирование терминосистемы, создание специфической семантической сетки, определение интегральных и дифференциальных сем, актуальных для определённого терминологического поля. К сожалению, авторы специальных словарей далеко не всегда моделируют терминологические по-

ля, определяют перечень категориальных семантических признаков. Как следствие, термины, включённые в профессиональные словари, не подвергаются когнитивному осмыслению, фиксируются «в облике» общеупотребительного слова либо термина, принадлежащего иной сфере науки и техники. Таким образом, на первом месте находится содержательный момент – определение ключевых слов, признаков-классификаторов и проч. Что же касается формы термина, желательно, чтобы она базировалась на общелитературном слове. Но это требование не является обязательным. В связи с этим существует понятие «профессиональный вариант нормы», который могут установить авторы специальных словарей и ГОСТов. Если создана верифицированная сетка понятий ПрО, можно переходить к её формализации, созданию словаря, в котором термины ПрО получают кодификацию, т.е. станут обязательными для носителей специальных профессиональных языков.

Заключение

Современное состояние русского языка характеризуется усложнением профессиональной языковой картины мира. В связи с технологическим развитием в профессиональной речи появляется большое количество новых обозначений, которые впоследствии кодифицируются не только в специальных словарях, справочниках, стандартах, но и попадают в словари для широкого использования. На материале новых слов, зафиксированных в 2023 г. на академическом научно-информационном орфографическом ресурсе «Академос», частью которого является «Русский орфографический словарь» - один из 30-ти авторитетных словарей русского языка, составляющих «Национальный словарный фонд», - авторами проанализировано более двухсот наименований, которые получили кодификацию. В результате проведённого исследования выявлены шесть онтологических тенденций фиксации специальной лексики на современном этапе: гнездование терминов, кодификация прилагательных с узкоспециальным значением, кодификация номенклатуры, устранение формальной вариантности терминов, фиксация несвободных словосочетаний ограниченного употребления, рост количества сложных терминов и аббревиатур. В морфологических группах имён существительных, прилагательных, причастий отмечается подавляющее большинство слов - новых терминов. Все зафиксированные аббревиатуры имеют специальное значение. Сплошная выборка слов, их социолингвистический, семантический, морфологический, орфографический анализы показали, что новые термины (специальная профессиональная лексика в целом) являются основным источником пополнения современного русского языка.

Список источников

- [1] Прогноз научно-технологического развития России: 2030 / Под ред. Л.М. Гохберга. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, НИУ «Высшая школа экономики», 2014. 244 с. https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf.
- [2] Об утверждении Стратегии развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014-2020 годы и на перспективу до 2025 года (с изменениями и дополнениями): Распоряжение Правительства РФ № 2036-р: от 1 ноября 2013 года. <http://government.ru/docs/8024/>.
- [3] О государственном языке Российской Федерации: Федеральный закон от 01.06.2005 № 53-ФЗ (редакция от 30 апреля 2021 года № 117-ФЗ). <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202104300087>.
- [4] Об утверждении Концепции развития регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники на период до 2024 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 19 августа 2020 г. № 2129-р. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008260005>.
- [5] **Едличко А.И.** Прикладное терминоведение как направление языковой политики государства // Вестник Московского университета. Серия 19: Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2019. №3. С. 19-27.
- [6] ГОСТ Р ИСО 29383-2012 Терминологическая политика. Разработка и внедрение. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293775/4293775287.pdf>.

- [7] Федеральный закон № 162-ФЗ. О стандартизации в Российской Федерации от 29.06.2015 № 162-ФЗ (последняя редакция). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/.
- [8] ГОСТ Р 1.2–2016 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления, внесения поправок, приостановки действия и отмены. <https://files.stroyinf.ru/Data/622/62242.pdf>.
- [9] **Ландэ Д.В., Снарский А.А.** Подход к созданию терминологических онтологий // Онтология проектирования. 2014. №2 (12). С. 83-91. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014_2%2812%29/6_Lande.pdf.
- [10] **Roché Ch., Calberg-Challot M., Damas L., Rouard Ph.** Ontoterminology: A New Paradigm for Terminology. KEOD 2009 - International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. 2009. P.321-326.
- [11] **Мийһоз I.** Methodological proposal to build a corpus-based ontology in terminology. *Lingue e Linguaggio*. 2019; 29. 581-597. DOI: 10.1285/i22390359v29p581.
- [12] **Сенько Е.В.** Неологизация в современном русском языке: межуровневый аспект. Санкт-Петербург: Наука, 2007. 354 с.
- [13] **Плотникова Л.И.** Новое слово: порождение, функционирование, узуализация. Белгород, 2000. 207 с.
- [14] **Голев Н.Д.** Стихийная узуализация номинативных единиц. Известия Уральского государственного университета. 2001. №21. С. 94-101.
- [15] Орфографический академический ресурс «АКАДЕМОС». <https://orfo.ruslang.ru/bibliogr>.
- [16] Федеральный закон № 93-ФЗ. О внесении изменения в Федеральный закон "О государственном языке Российской Федерации" от 24.04.2024 №93-ФЗ. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404220037>.
- [17] Русский орфографический словарь : около 160 000 слов / Рос. акад. наук, Отд. литерат. и языка, Ин-т рус. яз. им. В.В. Виноградова ; отв. ред. В.В. Лопатин. – Москва: Азбуковник, 1999. 1260 с.
- [18] Русский орфографический словарь : около 200 000 слов / Рос. акад. наук, Ин-т рус. яз. им. В.В. Виноградова; программа «Словари XXI века» ; [отв. ред. В.В. Лопатин, О.Е. Иванова. – Изд. 4-е, испр. и доп. – Москва: АСТПРЕСС [КНИГА], [2012 ; 2013]. 879 с.
- [19] Термины и понятия искусственного интеллекта в лингвистическом освещении: Монография / А.С. Мусеева, Ю.В. Сложеникина, Л.М. Гареева, Т.В. Манджиева, Е.В. Тишина, Б.Ф. Цховребова, С.П. Черкашина, А.Д. Экономова. М.: Издательство «Спутник +», 2024. 193 с.
- [20] **Фельде О.В., Мезит А.Э.** Профессиональная языковая картина мира как объект исследования в терминоведении и в лингвистике LSP. *Вестник Томского государственного университета*. 2023. №488. С.120–126.
- [21] **Зайцева А.С.** Современный профессиональный язык робототехники (на примере терминологического гнезда «Робот»). *Научный диалог*. 2021. № 5. С.96–114.
- [22] **Буянова Л.Ю.** Терминологический словарь корневых гнёзд языка науки. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2005. 458 с.
- [23] **Зайцева А.С., Сложеникина Ю.В.** Широкое и узкое понимание терминологического гнезда / В сб. *Языковые аспекты профессиональной коммуникации в современной образовательной среде*. М.: Российская таможенная академия, 2019. С.26–34.
- [24] **Zaitseva A.** Philosophical perspectives on state language policy and its impact on the development of Russian robotics terminology. *Synesis*, 2023, 16(1), 253–265.
- [25] Толковый словарь современного русского языка. Языковые изменения конца XX столетия. СПб.: Фолио-Пресс, 1998. 944 с.
- [26] **Зайцева А.С., Сложеникина Ю.В.** Две когнитивные точки референции термина-словосочетания. *Международный аспирантский вестник. Русский язык за рубежом*. 2019. № 1. С.56–61.
- [27] **Сложеникина Ю.В.** Основы терминологии: Лингвистические аспекты теории термина. М.: Ленанд, 2023. 120 с.
- [28] **Гринев С.В.** Введение в терминоведение. М.: Московский Лицей, 1993. 309 с.
- [29] **Лейчик В.М.** В мире названий: Рубин, Лада, Мишка косолапый. *Русская речь*. 1985. № 3. С. 99–103.
- [30] Правила русской орфографии и пунктуации. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1956. 176 с. <https://gramota.ru/biblioteka/spravochniki/pravila-russkoj-ortografii-i-punktuacii>.
- [31] Правила русской орфографии и пунктуации. Полный академический справочник / Под ред. В. В. Лопатина. М.: АСТ-ПРЕСС, 2009. 432 с.
- [32] **Политова И.Н.** Синтаксически нечленимые словосочетания как синкретичное явление. *Вестник Челябинского государственного университета*. 2008. № 30. С. 122–129.
- [33] **Маковей Р.Г.** Соотношение сложного слова и словосочетания. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2009. № 45. С.14-18.

Сведения об авторах



Сложеникина Юлия Владимировна, 1971 г. рождения. Окончила Самарский государственный педагогический университет (1993), д. филол. н. (2007), профессор (2020). Заведующий кафедрой филологии Университета «Синергия», профессор кафедры русского языка и методики его преподавания Российского университета дружбы народов. В списке научных трудов более 140 работ в области терминоведения, профессиональных дискурсов. AuthorID (РИНЦ): 251723. Author ID (Scopus): 57222506647; ORCID: 0000-0003-4982-7802; Researcher ID (WoS): AAB-9726-2020. goldword@mail.ru ✉



Зайцева Алла Сергеевна, 1974 г. рождения. Окончила Самарский государственный университет (1996), к. филол. н. (2019). Доцент кафедры английского языка и профессиональной коммуникации Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных трудов более 20 работ в области терминоведения. AuthorID (РИНЦ): 993774. ORCID: 0000-0002-6035-7197; Researcher ID (WoS): AAV-2437-2021. a.zaitseva@yahoo.com.

Поступила в редакцию 21.05.2024, после рецензирования 8.07.2024. Принята к публикации 15.07.2024.



Scientific article

DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-379-390

Ontology of the new term

© 2024, Yu.V. Slozhenikina^{1,2}✉, A.S. Zaitseva³

¹ Synergy University, Moscow, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

³ Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

The relevance of the study is related to the state policy of scientific and technological development of the Russian Federation, prioritizing areas such as information technologies and artificial intelligence as well as the state language policy in terminology. The policy aims to regulate the processes of term selection, unification of emerging, developing, or existing terminologies, and lexicographic codification of terms. The emergence of new leads to an increase in new designations in professional discourses, which are subsequently codified in specialized dictionaries, reference books, and standards. Some new terms become commonly used and enter dictionaries for widespread use. The study's material comprised new lexemes with highly specialized meanings, codified on the digital scientific and information academic resource "Academos." In 2023, the resource dictionary was updated with over 200 items. Six ontological trends in fixing special vocabulary were identified: nesting of terms, codification of adjectives with highly specialized meanings, codification of nomenclature, elimination of formal variation of terms, fixation of non-free phrases of limited use, and an increase in the number of complex terms and abbreviations. The analysis indicates that new terms are the main source of replenishment of the modern Russian language, the object of its reflection and codification. There is a societal demand for the normalization of special vocabulary, as it is an integral part of professional communications. Digitalization has created an information channel connecting Russian language users, expert spellers, and spelling resources. Experts in professional fields can ask questions or send comments to expert spellers (e.g., on the Internet portal "Gramota.ru"), incorporating professional expertise into the process of selecting and codifying new terms. Expert comments from spelling linguists may be valuable when designing domain ontologies. Combining the capabilities and advantages of natural and formal logics can enhance the accuracy and efficiency of designing ontoterminologies.

Keywords: term, professional vocabulary, subject area, dictionary, nomenclature, variation of terms, codification of terms.

For citation: Slozhenikina YuV, Zaitseva AS. Ontology of the new term [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 379-390. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-379-390.

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

List of figures

Figure 1 – Modern ontological trends in fixation of special vocabulary

Figure 2 – Terms in the cluster with the core term “jelly”

Figure 3 – Ways of expressing term-qualifying elements

References

- [1] Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030 / Ed. L.M. Gokhberg [In Russian]. Moscow: Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National Research University Higher School of Economics, 2014. 244 p. https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf.
- [2] On approval of the Strategy for the development of the information technology industry in the Russian Federation for 2014-2020 and for the future until 2025 (with amendments and additions): Order of the Government of the Russian Federation No. 2036-r: dated November 1, 2013 [In Russian]. <http://government.ru/docs/8024/>.
- [3] On the state language of the Russian Federation": Federal Law dated June 1, 2005. No. 53-FZ (last amended April 30, 2021. No. 117-FZ) [In Russian]. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202104300087>.
- [4] On approval of the Concept for developing regulation of regulation of relations in the field of artificial intelligence and robotics technologies for the period until 2024": approved by Order of the Government of the Russian Federation dated August 19, 2020. No. 2129-r [In Russian]. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008260005>.
- [5] **Edlichko AI.** Applied terminology as a direction of the state language policy [In Russian]. *Bulletin of Moscow University. Episode 19: Linguistics and intercultural communication*. 2019; 3: 19-27.
- [6] GOST R ISO 29383-2012 Terminology policy. Development and implementation. [In Russian]. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293775/4293775287.pdf>.
- [7] Federal Law 162. On standardization in the Russian Federation dated June 29, 2015. No. 162-FZ (latest edition) [In Russian]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/.
- [8] GOST R 1.2–2016 Standardization in the Russian Federation. National standards of the Russian Federation. Rules for development, approval, updating, amendment, suspension and cancellation [In Russian]. <https://files.stroyinf.ru/Data/622/62242.pdf>.
- [9] **Lande DV, Snarskii AA.** Approach to the creation of terminological ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 2 (12): 83-91. https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014_2%2812%29/6_Lande.pdf.
- [10] **Roche Ch, Calberg-Challot M, Damas L, Rouard Ph.** Ontoterminology: A New Paradigm for Terminology. KEOD 2009 - International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. 2009. P.321-326.
- [11] **Muñoz I.** Methodological proposal to build a corpus-based ontology in terminology. *Lingue e Linguaggio*. 2019; 29: 581-597. DOI: 10.1285/i22390359v29p581.
- [12] **Senko EV.** Neologization in modern Russian language: cross-level aspect [In Russian]. St. Petersburg: Nauka, 2007. 354 p.
- [13] **Plotnikova LI.** New word: generation, functioning, usage [In Russian]. Belgorod, 2000. 207 p.
- [14] **Golev ND.** Spontaneous usage of nominative units [In Russian]. Ural State University. 2001; 21: 94-101.
- [15] Spelling academic resource “ACADEMOS” [In Russian]. <https://orfo.ruslang.ru/bibliogr>.
- [16] Federal Law 93. On amendments to the Federal Law "On the State Language of the Russian Federation" dated April 24, 2024. No. 93-FZ. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404220037>.
- [17] Russian spelling dictionary: about 160,000 words [In Russian]. RAS, Dept. of literature and language, Vinogradov Russian Language Institute; resp. ed. V.V. Lopatin. Moscow: Azbukovnik, 1999. 1260 p.
- [18] Russian spelling dictionary: about 200,000 words [In Russian]. RAS, Dept. of literature and language, Vinogradov Russian Language Institute; ed. V.V. Lopatin, O.E. Ivanova. Ed. 4th, rev. and additional. Moscow: ASTPRESS. 2013. 879 p.
- [19] **Musaeva AS., Slozhenikina YuV.** et al. Terms and concepts of artificial intelligence in linguistic coverage [In Russian]. Moscow: Sputnik +, 2024. 193 p.
- [20] **Felde OV., Mezit AE.** The professional linguistic picture of the world as an object of research in terminology and linguistics LSP [In Russian]. *Bulletin of Tomsk State University*. 2023; 488: 120-126.

- [21] **Zaitseva AS.** Modern professional language of robotics (on the example of the terminological nest "Robot") [In Russian]. *Scientific dialogue*. 2021; 5: 96-114.
- [22] **Buyanova LY.** Terminological dictionary of root nests of the language of science [In Russian]. Krasnodar: Kuban State University, 2005. 458 p.
- [23] **Zaitseva AS., Slozhenikina YuV.** A broad and narrow understanding of the terminological family / In the sat. *Linguistic aspects of professional communication in a modern educational environment* [In Russian]. Moscow: Russian Customs Academy, 2019. P.26-34.
- [24] **Zaitseva A.** Philosophical perspectives on state language policy and its impact on the development of Russian robotics terminology. *Synesis*, 2023, 16(1), 253–265.
- [25] Explanatory dictionary of the modern Russian language. Linguistic changes at the end of the twentieth century [In Russian]. St. Petersburg: Folio Press, 1998. 944 p.
- [26] **Zaitseva AS., Slozhenikina YuV.** Two cognitive points of reference of the term-phrase [In Russian]. *International Postgraduate Bulletin. Russian language abroad*. 2019; 1: 56-61.
- [27] **Slozhenikina YuV.** Fundamentals of terminology: Linguistic aspects of the theory of the term [In Russian]. Moscow: Lenand, 2023. 120 p.
- [28] **Grinev SV.** Introduction to terminology [In Russian]. Moscow: Moscow Lyceum, 1993. 309 p.
- [29] **Leychik VM.** In the world of names: Ruby, Lada, Clubfoot Bear [In Russian]. *Russian speech*. 1985; 3: 99-103.
- [30] Rules of Russian spelling and punctuation [In Russian]. Moscow: State educational and pedagogical publishing house of the Ministry of Education of the RSFSR, 1956. 176 p. <https://gramota.ru/biblioteka/spravochniki/pravila-russkoj-ortografii-i-punktuacii>.
- [31] Rules of Russian spelling and punctuation. Complete academic reference book [In Russian]. Ed. V.V. Lopatin. Moscow: AST-PRESS, 2009. 432 p.
- [32] **Politova IN.** Syntactically inarticulate phrases as a syncretic phenomenon [In Russian]. *Bulletin of the Chelyabinsk State University*. 2008; 30: 122-129.
- [33] **Makovey RG.** The ratio of a complex word and a phrase [In Russian]. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*. 2009; 45: 14-18.

About the authors

Yulia Vladimirovna Slozhenikina (b. 1971), graduated from the Samara State Pedagogical University (1993), Doctor of Philology (2007), Professor (2020). Head of the Department of Philology at Synergy University, Professor of the Department of Russian Language and Teaching Methods at the Peoples' Friendship University of Russia. The list of scientific papers includes more than 140 works in the field of terminology, and professional discourses. AuthorID (RSCI): 251723. Author ID (Scopus): 57222506647; ORCID: 0000-0003-4982-7802; Researcher ID (WoS): AAB-9726-2020. goldword@mail.ru. ✉.

Alla Sergeevna Zaitseva (b. 1974), graduated from the Samara State University (1996), PhD (2019). Associate Professor of the Department of English for Professional Communication at the Financial University under the Government of the Russian Federation. The list of scientific papers includes more than 20 works in the field of terminology. AuthorID (RSCI): 993774. ORCID: 0000-0002-6035-7197; Researcher ID (WoS): AAV-2437-2021. a.zaitseva@yahoo.com.

Received May 21, 2024. Revised July 8, 2024. Accepted July 15, 2024.

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.89, 004.832

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-391-407

**Кластеризация с использованием методов удовлетворения табличных ограничений**

© 2024, А.А. Зуенко✉, О.Н. Зуенко

*Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова,
ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия***Аннотация**

Исследования посвящены развитию методов кластерного анализа, в частности методов кластеризации с частичным привлечением учителя, в которых при отнесении объектов к классам анализируются фоновые знания из предметной области. Традиционный подход к решению рассматриваемой задачи состоит в модификации существующих методов кластеризации, большинство из которых является методами локального поиска. В статье развивается подход к систематическому поиску оптимальных разбиений в рамках парадигмы программирования в ограничениях. Оригинальность представленных исследований состоит в том, что задачу кластеризации предложено решать как задачу удовлетворения ограничений, причём для моделирования ряда основных и дополнительных условий используются специализированные табличные ограничения – *смарт*-таблицы *D*-типа. Для организации процедур логического вывода на *смарт*-таблицах *D*-типа используются правила редукции табличных ограничений. Обсуждаются преимущества данного подхода. Показано, как анализ одного из оптимальных решений может помочь в выявлении объектов, лежащих на границе кластеров, и объектов, принадлежащих одному и тому же кластеру при любом оптимальном разбиении.

Ключевые слова: программирование в ограничениях, табличные ограничения, кластеризация, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных.

Цитирование: Зуенко А.А., Зуенко О.Н. Кластеризация с использованием методов удовлетворения табличных ограничений // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.391-407. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-391-407.

Финансирование: Работа выполнена в рамках НИР «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации» (регистрационный номер 122022800547-3).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Использование дополнительных ограничений в процессе интеллектуального анализа данных может быть полезно на всех этапах работы: как для предобработки информации, повышения производительности алгоритмов обработки, так и для анализа и уточнения результатов [1]. В частности, анализ подобных знаний способствует повышению эффективности и точности результатов рассматриваемых в работе задач кластеризации, а также повышению доверия экспертов к результатам кластеризации [2]. Знания могут быть представлены различным образом: в виде подмножества помеченных объектов, т.е. объектов, которым заранее присвоена метка класса; в форме ограничений на присут-

ствие/отсутствие тех или иных подмножеств объектов в кластерах; как требования к размеру кластеров и т.п.

В настоящее время развивается подход к кластеризации, именуемый кластеризацией с частичным привлечением учителя [3], в котором при отнесении объектов к одному или различным кластерам анализируются не только расстояния между объектами, но и некоторые фоновые знания из предметной области (ПрО). Традиционный подход к решению задач кластеризации с частичным привлечением учителя состоит в модификации существующих методов кластеризации, большинство из которых является методами локального поиска, поэтому данный подход позволяет находить лишь локальный оптимум [4].

Целью представленных исследований является разработка нового подхода к поиску глобального оптимума при решении задач кластеризации с частичным привлечением учителя, опирающегося на комплексный учёт разнородных экспертных знаний о ПрО. Подход направлен на снижение степени неопределённости при получении результатов анализа данных.

Предлагаемый подход реализован в рамках технологии программирования в ограничениях, которая основывается на широком спектре методов искусственного интеллекта, информационных технологий и исследования операций [5]. Особенность подхода состоит в моделировании задач кластеризации с использованием специализированных табличных ограничений и широком применении процедур вывода на данных ограничениях при поиске требуемого разбиения.

Подробное описание видов табличных ограничений и их классификацию можно найти в [6], а описание применения табличных ограничений для решения задачи поиска в больших данных паттернов заданного вида содержится в [7]. Настоящая работа продолжает исследования, посвящённые применению процедур вывода на табличных ограничениях при решении задач машинного обучения.

1 Ограничения в задаче кластеризации

Кластеризация – это процесс разделения набора объектов на подмножества таким образом, чтобы объекты из одного кластера были более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров, по какому-либо критерию. К наиболее известным методам кластеризации относятся метод *K*-средних, иерархические методы, спектральная кластеризация [8-10].

Отнесение двух объектов в один кластер только на основе метрики может быть семантически некорректной операцией [2]. Недостатком большинства существующих методов кластеризации является невозможность гибко учитывать пользовательские ограничения на объекты кластеризации и искомую модель. Применение фоновых знаний положительно влияет на процесс решения задачи кластерного анализа, повышая его эффективность за счёт дополнительной редукции пространства поиска и обеспечивая возможность получения глобального оптимума (в случае необходимости) за приемлемое время.

При решении задачи кластеризации целесообразен учёт следующих ограничений.

Пользовательские ограничения могут быть двух уровней: на *объекты кластеров*, уточняющие требования к парам конкретных объектов; на *кластеры*, указывающие требования к кластерам.

Самыми распространенными ограничениями на объекты кластеров являются ограничения на пары объектов, они бывают двух типов [11, 12]: «обязательно связаны» и «не могут быть связаны». Первые требуют, чтобы два экземпляра были размещены в одном кластере, а вторые предписывают размещение двух экземпляров в разных кластерах. Ограничения «обязательно связаны» являются симметричными, рефлексивными и транзитивными. Ограниче-

ния «не могут быть связаны» не обладают свойством транзитивности. Обычно подобные ограничения применяются на этапе интеллектуального анализа и определяются как жёсткие, но могут быть ослаблены, если пользователь выражает неуверенность в конкретном ограничении. Применение этих ограничений зачастую приводит к повышению точности результата, и они могут использоваться для выражения других пользовательских ограничений.

Ограничения на кластеры могут задаваться через пространственные свойства. Например, ограничение на максимальный диаметр разбиения, которое определяет верхнюю границу диаметра кластера и означает, что между каждой парой объектов любого кластера расстояние не может превышать эту границу. Это ограничение может рассматриваться как конъюнкция ограничений «не могут быть связаны» между всеми парами объектов с расстоянием, превышающим границу. Распространённым является ограничение, задающее минимальное расстояние между объектами различных кластеров. Данное ограничение может быть выражено как конъюнкция ограничений «обязательно связаны» между всеми парами объектов, расстояние между которыми меньше, чем заданная нижняя граница.

Примеры ограничений на кластеры:

- минимальная мощность (населённость) кластера означает, что число объектов в каждом кластере должно быть не меньше заданной границы α ;
- максимальная мощность кластера означает, что число объектов в каждом кластере должно быть не больше заданной границы β ;
- средняя населённость кластера означает, что должен соблюдаться баланс, и все кластеры должны быть примерно одного размера, т.е. отношение между размером самого маленького и самого большого кластеров должно быть больше заданной границы θ .
- ограничение на плотность кластера предписывает, что в радиусе ϵ каждого элемента должен существовать другой объект, принадлежащий данному кластеру.

Способом привлечения фоновых знаний является также использование небольшого набора помеченных объектов, т.е. объектов, которым присвоена метка кластера, в который они должны попасть. В [13] используется множество объектов, которыми «засеиваются», т.е. инициализируются кластеры, а также ограничения, которые генерируются на основании помеченных данных. Удачным образом произведённая инициализация в дальнейшем может помочь алгоритму избежать «застревания» в локальном оптимуме, поскольку соответствует пользовательскому определению кластеров.

2 Методы кластеризации с частичным привлечением учителя

Методы кластеризации с частичным привлечением учителя можно поделить на три категории, основанные на: расстояниях, ограничениях, ограничениях и расстоянии [3].

В подходах, основанных на ограничениях, алгоритм кластеризации модифицируется для интеграции попарных ограничений («обязательно связаны» и «не могут быть связаны»), тогда как в подходах, основанных на расстоянии, изменяется только метрика расстояния.

Алгоритм *Constrained k-means (Cop-k-means)* [14] – это алгоритм кластеризации с частичным привлечением учителя, который является модификацией алгоритма *k-means* [15], использующей попарные ограничения, т.е. кластеризуемый объект данных должен удовлетворять ограничениям «обязательно связаны» и «не могут быть связаны».

Пусть набор данных нужно разделить на $k=2$ кластера Cl_1 и Cl_2 , u_1 и u_2 являются центральными точками каждого кластера, а O_i и O_j – два экземпляра данных (объекта), на которые наложено ограничение «обязательно связаны». Если O_i отнесён к ближайшему кластеру Cl_1 , алгоритм *Cop-k-means* не вычисляет расстояние между объектом O_j и центральными точками кластеров, а напрямую относит O_j к кластеру Cl_1 . Это происходит даже несмотря на то, что O_j может находиться ближе к центральной точке кластера Cl_2 . Также можно ввести ограничения на объекты, модифицировав метрику расстояния или целевую функцию.

Алгоритм *BH-k-means* является модификацией алгоритма *k-means* [16]. В нём объединены ограничения «обязательно связаны» и «не могут быть связаны», и на каждой итерации, когда происходит обновление разбиения, эти ограничения должны удовлетворяться. Целевая функция данного алгоритма состоит из двух частей: первая вычисляет евклидово расстояние между объектами и центрами кластеров, вторая – штраф за нарушение ограничений.

Методы, основанные на модификации метрики, изменяют значение расстояния, исходя из анализа фоновых знаний. Идея заключается в том, что если на два объекта O_i и O_j накладывается ограничение «обязательно связаны», то расстояние между ними может быть меньше обычного, чтобы у них было больше шансов оказаться в одном кластере. Похожий подход применяется и к ограничению «не могут быть связаны».

Одним из таких алгоритмов является *МК-means (Metric K-means)* [17], в котором минимизируются квадраты расстояний между объектами, связанными ограничением «обязательно связаны». В *МРСК-means (Metric Pairwise Constrained K-means)* [17] объединены подходы, основанные на ограничениях и на метриках, и, в отличие от *МК-means*, используются не только ограничения, но и непомеченные данные для вычисления метрики. Для каждого кластера допускается своя метрика, поэтому кластеры могут принимать различные формы. Сумма штрафа всегда одинакова, однако нарушение ограничения «обязательно связаны» для удалённых друг от друга объектов является более серьёзным, чем нарушение этого же ограничения для близлежащих объектов. Поэтому каждый штраф умножается на среднее расстояние между двумя объектами. Аналогичная ситуация с ограничением «не могут быть связаны». В упомянутом в разделе 1 методе «засеивания» для кластеризации используется помеченные данные [13, 18]. В данном подходе используются алгоритм *k-means* со штрафами и алгоритм «засеивания». Метод «засеивания» позволяет решить задачу поиска начальных центров кластеров. За неверно кластеризованные объекты предусмотрены штрафы.

3 Организация вывода на табличных ограничениях

Задача удовлетворения ограничений (ЗУО) состоит из конечного множества переменных $V = \{x_1, \dots, x_n\}$, множества доменов этих переменных $Dom = \{Dom_1, \dots, Dom_n\}$ и множества ограничений $Constr$, которые определяют допустимые комбинации значений переменных [5]. Решением ЗУО называется кортеж значений $(d_1, \dots, d_n)$, которые удовлетворяют всем ограничениям ($d_i \in Dom_i$).

Перспективным подходом к представлению и обработке качественных зависимостей (логических формул, продукционных правил и т.п.) в рамках парадигмы программирования в ограничениях следует признать подход, основанный на применении их специализированного табличного представления. Известные виды табличных ограничений, такие как обычные таблицы, сжатые таблицы и *смарт*-таблицы [19], хорошо подходят для моделирования дизъюнктивных нормальных форм логических формул. Однако с их помощью не всегда целесообразно описывать некоторые виды знаний, например, продукционные правила, поскольку при этом порождаются громоздкие конструкции.

Любое ограничение, определённое на конечных доменах переменных, может быть представлено в виде обычной таблицы.

Пример 1. Пусть ограничения заданы в виде предиката $(X_1 \geq X_2) \wedge (X_1 + X_3 \leq 10)$, а домены переменных $X_1 \in \{1, 4, 7\}$, $X_2 \in \{2, 5, 8\}$, $X_3 \in \{3, 9\}$. В виде таблицы данное отношение будет иметь вид (см. справа). В таблице явно перечислены все допустимые присваивания для ограничения. Но при таком эксплицитном представлении размер таблиц будет расти экспоненциально при росте количества атрибутов и размеров их доменов.

X_1	X_2	X_3
4	2	3
7	2	3
7	5	3

Данную таблицу можно переписать в виде сжатой таблицы:

X_1	X_2	X_3
$\{4\}$	$\{2\}$	$\{3\}$
$\{7\}$	$\{2,5\}$	$\{3\}$

Данное ограничение в виде *смарт*-таблицы *C*-типа [6, 7] имеет вид:

$X_1 X_2$	X_3
$>$	$=3$

Пример 2. Пусть задано некоторое правило $(3 > L) \rightarrow (G_1 \neq G_2)$. Раскрытие в данном выражении импликации приводит к записи: $(3 \leq L) \vee (G_1 \neq G_2)$. С помощью известных типов *смарт*-таблиц это ограничение может быть выражено следующим образом [6, 7]:

$$\begin{array}{cc} L & G_1 G_2 \\ \left[\begin{array}{cc} \geq 3 & * \\ * & \neq \end{array} \right]. \end{array}$$

Приведённое табличное ограничение содержит заголовок отношения/ограничения, куда входит один простой атрибут L и составной атрибут $G_1 G_2$. В каждом столбце таблицы содержится одна значащая компонента и одна фиктивная компонента «*», которая описывает весь диапазон возможных значений соответствующего атрибута. В написании компонент может использоваться символ « $\emptyset$ », который обозначает компоненту, не содержащую ни одного значения.

В отличие от *смарт*-таблиц *C*-типа, которые соответствуют дизъюнктивным нормальным формам логических формул с элементарными одно- и двухместными предикатами, *смарт*-таблицы *D*-типа соответствуют конъюнктивным нормальным формам таких формул. *Смарт*-таблицы *D*-типа записываются при помощи обратных квадратных скобок.

Представленное выше правило может быть смоделировано следующей *смарт*-таблицей *D*-типа, состоящей из одной строки:

$$\begin{array}{cc} L & G_1 G_2 \\ \left[\geq 3 & \neq \right]. \end{array}$$

Вывод (распространение) на ограничениях, представленных в виде *смарт*-таблиц *D*-типа, предлагается осуществлять с использованием следующих утверждений [7].

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

Утверждение 2. Если все компоненты некоторого атрибута пусты, то данный атрибут можно удалить из *смарт*-таблицы *D*-типа (удаляются все компоненты, стоящие в соответствующем столбце), а пара «удаляемый атрибут – его домен» сохраняется в векторе частичного решения.

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

Утверждение 4. Если строка *смарт*-таблицы *D*-типа содержит хотя бы одну полную компоненту, то строка удаляется.

Утверждение 5. Если компонента атрибута *смарт*-таблицы *D*-типа содержит значение, не принадлежащее соответствующему домену, то значение удаляется из компоненты.

Утверждение 6. Если в *смарт*-таблице *D*-типа усечён один или несколько доменов простых атрибутов, которые формируют некоторый составной атрибут, то из домена составного атрибута исключаются отношения, которые обращаются в пустое множество при новых доменах соответствующих простых атрибутов.

Утверждение 7. В случае конкретизации домена составного атрибута должны быть конкретизированы и домены соответствующих простых атрибутов с учётом вновь выведенного домена составного атрибута.

Далее рассматривается применение вывода на табличных ограничениях для решения задачи проверки логического следования предиката $P(x)$ из предиката $Q(x)$, т.е. $Q(x) \models P(x)$, где $\models$ – знак логического следования.

Всякий n -местный предикат $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ можно рассматривать как одноместный $P(x)$

на множестве наборов $(m_1, m_2, \dots, m_n) \in M_1 \times M_2 \times \dots \times M_n$.

Пусть предикат $P(x)$ задан на ПрО M . Тогда ему можно поставить во взаимно однозначное соответствие подмножество M_P тех элементов $x^* \in M$, для которых значение $P(x^*)$ истинно: $P(x^*) = \text{true} \Leftrightarrow x^* \in M_P$ и $P(x^*) = \text{false} \Leftrightarrow x^* \in M \setminus M_P$. Аналогичным образом интерпретируется отрицание предиката $P(x)$: $\neg P(x^*) = \text{true} \Leftrightarrow x^* \in M \setminus M_P$.

Для предикатов $P(x)$ и $Q(x)$ при любом значении x^* предметной переменной x справедливы соотношения: $P(x^*) \vee Q(x^*) = \text{true} \Leftrightarrow x^* \in M_P \cup M_Q$; $P(x^*) \wedge Q(x^*) = \text{true} \Leftrightarrow x^* \in M_P \cap M_Q$.

Теоретико-множественная интерпретация отношения логического следования состоит в следующем: $P(x) \models Q(x) \Leftrightarrow M_P \subseteq M_Q$. Из логики известно, что доказательство соблюдения логического следования $P(x) \models Q(x)$ часто проверяется согласно следующему соотношению: $P(x) \wedge \neg Q(x) \models$, т.е. сводится к доказательству противоречивости формулы $P(x) \wedge \neg Q(x)$, которая на языке алгебры множеств выражается следующим образом: $M_P \cap (M \setminus M_Q) = \emptyset$.

Таким образом, подтверждение или опровержение логического следования $P(x) \models Q(x)$ может выполняться путём вычисления алгебраических выражений, в которых задействованы области истинности M_P и M_Q этих предикатов. Подобные вычисления не эффективны, если области M_P и M_Q представлены с помощью обычных таблиц истинности, но если эти области выражаются с помощью *смарт*-таблиц, то ситуация в корне изменяется.

Пример 3. Пусть имеются два предиката $P(X, Y) \equiv (X \in \{1, 2\}) \wedge (Y \in \{3, 4\})$ и $Q(X, Y) \equiv (X \neq Y)$, где области определения переменных X и Y совпадают и равны множеству $M = \{1, 2, 3, 4\}$. Требуется определить, выполняется ли соотношение $P(x) \models Q(x)$.

Решение сводится к проверке противоречивости следующей формулы

$$P(x) \wedge \neg Q(x) = (X \in \{1, 2\}) \wedge (Y \in \{3, 4\}) \wedge (X = Y).$$

Противоречивость/непротиворечивость данной формулы сводится к установлению с использованием *утверждений 6, 7* пустоты следующей *смарт*-таблицы *C*-типа, моделирующей текущее состояние доменов переменных (как простых, так и составных):

$$\begin{array}{ccc} X & Y & XY \\ [1, 2] & [3, 4] & = \end{array}.$$

Данная таблица пуста, следовательно логическое следование $P(x) \models Q(x)$ выполняется.

Пример 4. Пусть $P(X_1, X_2) \equiv (X_1 \in \{2\}) \wedge (X_1 = X_2)$, а $Q(X_1, X_2) \equiv (X_1 \in \{2\}) \vee (X_2 \in \{3, 4\}) \wedge (X_1 \neq X_2)$. Требуется определить, выполняется ли соотношение $P(x) \models Q(x)$.

С помощью *смарт*-таблиц *C*-типа выражение $M_P \subseteq M_Q$ для этого случая имеет вид:

$$\begin{array}{ccccc} X_1 & X_2 & X_1 X_2 & X_1 & X_2 & X_1 X_2 \\ [\{2\} & * & =] \subseteq \left[\begin{array}{ccc} \{2\} & * & * \\ * & \{3, 4\} & \neq \end{array} \right]. \end{array}$$

Данное соотношение выполняется, поскольку однострочная *смарт*-таблица, стоящая слева от знака включения множеств, покомпонентно содержится в первой строчке *смарт*-таблицы, стоящей справа от этого знака. Значит, логическое следование выполнено.

Следует отметить, что все алгебраические операции и проверки соотношения включения выполняются для *смарт*-таблиц без их разложения в элементарные кортежи.

4 Задачи кластеризации в парадигме программирования в ограничениях

Пусть требуется разбить заданные объекты $O = \{O_1, \dots, O_n\}$ на $k \in [k_{\min}, k_{\max}]$ непересекающихся кластеров таким образом, чтобы минимизировать диаметр разбиения ($Diam \rightarrow \min$). Диаметр разбиения – это максимальное в рамках разбиения расстояние между любыми двумя точками, принадлежащими одному кластеру.

За базовую модель для решения задачи кластеризации с частичным привлечением учителя принята модель, описанная в [2]. В данной модели переменные $O=\{O_1, \dots, O_n\}$ соответствуют объектам кластеров, а в качестве их доменов выступает множество индексов возможных кластеров $\{1, \dots, k_{max}\}$. Присваивание $O_i=c$, где $c \in \{1, \dots, k_{max}\}$, означает, что точка O_i попадает в кластер c . Полное присваивание переменных представляет собой разбиение.

При постановке задачи необходимо задать следующие основные ограничения.

- $Precede(O, [1, \dots, k_{max}])$ – ограничение, исключающее симметричные решения: каждому из возможных разбиений, содержащих, по меньшей мере, k_{min} различных кластеров и самое большее k_{max} различных кластеров, должно соответствовать ровно одно полное присваивание значений переменных.
- $AtLeast(O, k_{min}, 1)$ – ограничение предписывает, чтобы в результирующем полном присваивании хотя бы одна из переменных $O=\{O_1, \dots, O_n\}$ принимала значение k_{min} . Условие на верхнюю границу k_{max} интервала для k учитывается при задании множества возможных индексов кластеров – $\{1, \dots, k_{max}\}$.
- При решении задачи минимизации диаметра разбиения для каждой пары объектов, т.е. для каждого элемента матрицы расстояний $[d_{ij}]$, должно быть сгенерировано ограничение вида

$$(d_{ij} > Diam) \rightarrow (O_i \neq O_j). \quad (1)$$

Здесь d_{ij} – это константа, обозначающая расстояние между объектами O_i и O_j . Переменная $Diam$ обозначает диаметр разбиения и изначально принимает значения из интервала $[d_{min}, d_{max}]$, где d_{min} и d_{max} – это минимальный и максимальный элементы матрицы $[d_{ij}]$.

В задаче кластеризации с частичным привлечением учителя пользователь может задать дополнительные ограничения, которые также интегрируются в модель [2]:

- ограничение на минимальное количество α элементов в кластере O_i : $AtLeast(O, O_i, \alpha)$;
- ограничение на максимальное количество β элементов в кластере c : $AtMost(O, c, \beta)$;
- бинарное ограничение «обязательно связаны» $O_i=O_j$, задающее, что пара объектов O_i и O_j должна попадать в один кластер при любом варианте разбиения [11];
- бинарное ограничение «не могут быть связаны» $O_i \neq O_j$, задающее, что пара объектов O_i и O_j не попадает в один кластер при любом варианте разбиения [12].

Совокупности ограничений вида (1) в настоящей статье предлагается моделировать с помощью *смарт*-таблиц *D*-типа.

5 Пример решения задачи кластеризации с использованием вывода на табличных ограничениях

Пример 5. Пусть имеется пять объектов, которые нужно разбить на два кластера, т.е. $k=2$. Задана матрица расстояний между объектами (см. таблицу 1). Необходимо найти разбиение объектов с минимальным диаметром. Пусть первый объект принадлежит первому кластеру ($O_1=1$).

Ограничения на основе значений, приведённых в матрице расстояний, имеют вид:

Таблица 1 – Пример матрицы расстояний для задачи разбиения на два кластера

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5
O_1	0	8	15	3	1
O_2	8	0	1	7	2
O_3	15	1	0	2	3
O_4	3	7	2	0	1
O_5	1	2	3	1	0

$$\begin{aligned}
 (Diam < 8) &\rightarrow (O_1 \neq O_2) \\
 (Diam < 15) &\rightarrow (O_1 \neq O_3) \\
 (Diam < 3) &\rightarrow (O_1 \neq O_4) \\
 (Diam < 1) &\rightarrow (O_1 \neq O_5) \\
 (Diam < 1) &\rightarrow (O_2 \neq O_3) \\
 (Diam < 7) &\rightarrow (O_2 \neq O_4) \\
 (Diam < 2) &\rightarrow (O_2 \neq O_5) \\
 (Diam < 2) &\rightarrow (O_3 \neq O_4) \\
 (Diam < 3) &\rightarrow (O_3 \neq O_5) \\
 (Diam < 1) &\rightarrow (O_4 \neq O_5)
 \end{aligned}$$

Раскрытием импликации получаются следующие дизъюнкции:

$$\begin{aligned}
 (Diam \geq 8) \vee (O_1 \neq O_2) \\
 (Diam \geq 15) \vee (O_1 \neq O_3) \\
 (Diam \geq 3) \vee (O_1 \neq O_4) \\
 (Diam \geq 1) \vee (O_1 \neq O_5) \\
 (Diam \geq 1) \vee (O_2 \neq O_3) \\
 (Diam \geq 7) \vee (O_2 \neq O_4) \\
 (Diam \geq 2) \vee (O_2 \neq O_5) \\
 (Diam \geq 2) \vee (O_3 \neq O_4) \\
 (Diam \geq 3) \vee (O_3 \neq O_5) \\
 (Diam \geq 1) \vee (O_4 \neq O_5)
 \end{aligned}$$

Данные ограничения также могут быть записаны в виде *смарт*-таблицы *D*-типа:

<i>Diam</i>	O_1O_2	O_1O_3	O_1O_4	O_1O_5	O_2O_3	O_2O_4	O_2O_5	O_3O_4	O_3O_5	O_4O_5
1	≥ 8	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
2	≥ 15	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
3	≥ 3	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
4	≥ 1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
5	≥ 1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
6	≥ 7	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
7	≥ 2	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$
8	≥ 2	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$
9	≥ 3	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$
10	≥ 1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$

Процедура поиска минимального диаметра разбиения следующая. Изначально домен переменной, описывающий диаметр разбиения, равен множеству $\{1, 2, 3, 4, 7, 8, 15\}$. На первом шаге можно предположить, что $Diam=1$. Тогда видно, что строки 4, 5 и 10 исключаются из рассмотрения на основании утверждения 4, поскольку их компонента *Diam* становится

полной. С учётом утверждения 5 все оставшиеся компоненты столбца *Diam* становятся пустыми. Остаток в виде *смарт*-таблицы *D*-типа имеет вид:

<i>Diam</i> = 1	O_1O_2	O_1O_3	O_1O_4	O_1O_5	O_2O_3	O_2O_4	O_2O_5	O_3O_4	O_3O_5	O_4O_5
1	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
2	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
3	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
6	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
7	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$	$\emptyset$
8	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$	$\emptyset$
9	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\neq$

В результате упрощения данной таблицы согласно утверждению 3 вычёркиваются все строки *смарт*-таблицы *D*-типа. Здесь и далее для моделирования текущего состояния доменов простых и составных переменных (текущего частичного присваивания) используются *смарт*-таблицы *C*-типа, состоящие из единственной строки. Для данного случая получается следующее частичное присваивание:

O_1	<i>Diam</i>	O_1O_2	O_1O_3	O_1O_4	O_2O_4	O_2O_5	O_3O_4	O_3O_5
[{1}]	[{1}]	$\neq$	$\neq$	$\neq$	$\neq$	$\neq$	$\neq$	$\neq$

Первый столбец описывает тот факт, что объект O_1 принадлежит первому кластеру ($O_1=1$). Этот факт здесь и далее добавлен для исключения симметрии в получаемых решениях. Из анализа полученной *смарт*-таблицы *C*-типа (утверждения 6 и 7), во-первых, следует, что объект O_1 должен лежать в разных кластерах с объектами O_2 и O_4 , а, во-вторых, что объекты O_2 и O_4 не могут лежать в одном кластере. Эти два условия не могут быть одновременно удовлетворены при количестве кластеров равном двум. По той же причине минимальное значение диаметра разбиения не может быть равно 2.

Проверка *Diam*=3 для заданной системы ограничений приводит к следующему частичному присваиванию:

O_1	<i>Diam</i>	O_1O_2	O_1O_3	O_2O_4
[{1}]	[{3}]	$\neq$	$\neq$	$\neq$

Фактически данная *смарт*-таблица *C*-типа моделирует следующую логическую формулу: $(O_1=1) \wedge (Diam=3) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4)$.

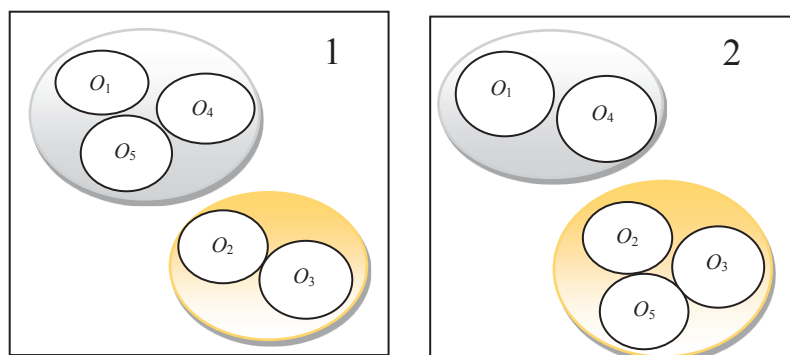


Рисунок 1 – Варианты разбиения

При таком диаметре возможны два решения. Полученные разбиения представлены на рисунке 1.

Решение задачи кластеризации на основе разработанной декларативной модели осуществляется с применением систематического поиска. В ходе систематического поиска не происходит полного перебора вариантов, поскольку неперспективные

ветви дерева поиска отсекаются в результате применения метода распространения ограниче-

ний и предложенных правил выбора наилучшего преемника текущего состояния. Предлагаемый метод систематического поиска опирается на следующие эвристики выбора переменной на текущем шаге поиска: выбирается переменная, домен которой содержит наименьшее количество значений. При выборе значения переменной применяется следующее правило: поскольку переменная представляет один из кластеризуемых объектов, а её значение – номер кластера, то переменной присваивается номер того кластера, который ближе к рассматриваемому объекту.

6 Пример решения задачи кластеризации с частичным привлечением учителя

Представление знаний в виде *с마트*-таблиц *D*-типа может быть полезно не только при обработке правил вида (1), но и при работе с некоторыми дополнительными пользовательскими ограничениями, например с ограничением на плотность кластера.

Пример 6. Пусть к исходным условиям задачи кластерного анализа, описанной в *примере 1*, добавлено ограничение, что на расстоянии 1 от любого объекта кластера должен находиться хотя бы один другой элемент этого же кластера. Пусть объект O_1 отнесён пользователем в первый кластер ($O_1=1$), а объект O_3 – во второй кластер ($O_3=2$). Целью (по-прежнему) является минимизация диаметра разбиения. В данном случае ограничение на плотность описывается следующей *с마트*-таблицей *D*-типа:

$$\begin{array}{c} O_1O_5 \quad O_2O_3 \quad O_4O_5 \\ \left[\begin{array}{ccc} = & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & = & \emptyset \\ \emptyset & = & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & = \\ = & \emptyset & = \end{array} \right] \end{array}$$

Каждая строка данной таблицы соответствует дизъюнкции ограничений «обязательно связаны» для некоторого объекта. Поскольку кластеризуемых объектов пять, то и количество строк матрицы равно пяти. Например, последняя строка матрицы соответствует ограничению: $(O_5=O_1) \vee (O_5=O_4)$, т.е. вместе с O_5 в одном кластере должен находиться либо объект O_1 , либо объект O_4 , либо они оба, поскольку их расстояние до O_5 равно 1.

Таблицу, моделирующую данное пользовательское ограничение, можно упростить, используя утверждения 1-5: все строки данной таблицы вычёркиваются, а текущее частичное присваивание описывается следующей однострочной *с마트*-таблицей *C*-типа:

$$\begin{array}{c} O_1O_5 \quad O_2O_3 \quad O_4O_5 \\ [= \quad = \quad =] \end{array}$$

Добавление к данной упрощённой таблице, моделирующей ограничение на плотность, пользовательских ограничений для объектов O_1 и O_3 , приводит к следующей *с마트*-таблице *C*-типа:

$$\begin{array}{ccccc} O_1 & O_3 & O_1O_5 & O_2O_3 & O_4O_5 \\ [\{1\} & \{3\} & = & = & =] \end{array}$$

На основе её анализа с учётом утверждений 6, 7 получается следующая *с마트*-таблица *C*-типа:

$$\begin{matrix} O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 & O_1O_5 & O_2O_3 & O_4O_5 \\ [\{1\} & \{2\} & \{2\} & \{1\} & \{1\} & = & = & =] \end{matrix}$$

Анализируя данную таблицу, можно конкретизировать значения всех составных атрибутов:

$$\begin{matrix} O_1O_2 & O_1O_3 & O_1O_4 & O_2O_4 & O_2O_5 & O_3O_4 & O_3O_5 \\ [\neq & \neq & = & \neq & \neq & \neq & \neq] \end{matrix}$$

Из таблицы, где содержатся выражения вида (1), формализующие базовые ограничения задачи кластеризации, видно, что с учётом новых доменов составных атрибутов в ней часть строк вычёркивается, а оставшиеся строки будут содержать ровно по одной непустой компоненте каждая (компонента *Diam*):

$$\begin{matrix} Diam & O_1O_2 & O_1O_3 & O_1O_4 & O_1O_5 & O_2O_3 & O_2O_4 & O_2O_5 & O_3O_4 & O_3O_5 & O_4O_5 \\ \left[\begin{matrix} \geq 1 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \geq 1 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \geq 3 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \geq 1 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Это означает, что нижняя граница домена переменной *Diam* устанавливается в значение «3». Ответом задачи является следующее разбиение с минимальным диаметром равным *Diam*=3: $O_1=1, O_2=2, O_3=2, O_4=1, O_5=1$, которое изображено на рисунке 1 слева.

7 Определение множества «мигрирующих» объектов и «ядер» кластеров

Если предположить, что имеются все оптимальные разбиения поставленной задачи кластеризации, то можно выяснить, какие объекты всегда входят в одни и те же кластеры, образуя своеобразные «ядра» кластеров, а какие объекты в различных разбиениях «мигрируют» из класса в класс. Такая информация полезна для дальнейшей выработки классифицирующих правил. Однако, ввиду высокой размерности данных не всегда удаётся получить даже одно точное решение задачи кластеризации (оптимальное разбиение), поскольку для поиска решения применяются приближённые алгоритмы (алгоритмы локального поиска).

Для выявления множества объектов, формирующих «ядра» кластеров, можно рассмотреть два варианта: первый позволяет делать выводы о «ядрах» кластеров на основе анализа одного единственного решения, второй связан с поиском всех решений задачи.

Применение первого варианта показано на следующем примере.

Пример 7. Пусть в *примере 5* известно одно из оптимальных разбиений: *Diam*=3, $O_1=1, O_2=2, O_3=2, O_4=1, O_5=1$.

Данное решение моделируется следующей *смарт*-таблицей *C*-типа:

$$\begin{matrix} Diam & O_1 & O_2 & O_3 & O_4 & O_5 \\ [\{3\} & \{1\} & \{2\} & \{2\} & \{1\} & \{1\}] \end{matrix}$$

Предлагаемый метод выявления «ядер» кластеров основывается на последовательной проверке отношения логического следования для каждой из компонент O_i имеющегося решения в отдельности. Если компонента O_i выводится из имеющихся посылок, то соответствующий объект принадлежит «ядру» определённого кластера; если отношение логического следования не выполняется, то объект является «мигрирующим». Выполнение отношения логического следования проверяется путём установления пустоты соответствующей *смарт*-таблицы с использованием *утверждений 1-7*.

Как показано в *примере 5*, при $Diam=3$ исходная система посылок позволяет сформировать следующее частичное присваивание:

$$\begin{array}{ccccc} O_1 & Diam & O_1O_2 & O_1O_3 & O_2O_4 \\ [\{1\} & \{3\} & \neq & \neq & \neq], \end{array}$$

которое соответствует логическому выражению:

$$(O_1=1) \wedge (Diam=3) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4).$$

Необходимо проверить, выполняется ли отношение выводимости для первой компоненты имеющегося решения ($O_1=1$). Для этого должно выполняться следующее логическое следование:

$$(O_1=1) \wedge (Diam=3) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4) \models (O_1=1).$$

На языке *смарт*-таблиц это означает, что должно соблюдаться соотношение:

$$\begin{array}{ccccc} O_1 & Diam & O_1O_2 & O_1O_3 & O_2O_4 \\ [\{1\} & \{3\} & \neq & \neq & \neq] \subseteq [\{1\} & * & * & * & *]. \end{array}$$

Смарт-таблица слева от знака $\subseteq$ покомпонентно включена в *смарт*-таблицу, располагающуюся справа от этого знака. Это означает, что логическое следование выполняется, а объект O_1 входит в «ядро» кластера «1».

Для $O_2=2$ требуется проверить справедливость следующего соотношения:

$$(O_1=1) \wedge (Diam=3) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4) \models (O_2=2).$$

Известно, что установление логического следования $A \models B$ равносильно установлению противоречивости формулы $A \wedge \neg B$ [20].

Тогда для компоненты $O_2=2$ необходимо выяснить противоречивость формулы:

$$(O_1=1) \wedge (O_2=1) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4)$$

или, что равносильно, требуется выяснить, пуста ли следующая *смарт*-таблица *C*-типа:

$$\begin{array}{ccccc} O_1 & O_2 & Diam & O_1O_2 & O_1O_3 & O_2O_4 \\ [\{1\} & \{1\} & \{3\} & \neq & \neq & \neq] \end{array}$$

Получается противоречие, объекты O_1 и O_2 не могут одновременно попадать в первый кластер, так как $O_1 \neq O_2$. Проверка для объекта O_3 происходит в точности, как и для O_2 . Также получается противоречие.

Теперь проверяется компонента O_4 : $(O_1=1) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4) \models (O_4=1)$.

Смарт-таблица

$$\begin{array}{ccccc} O_1 & O_4 & Diam & O_1O_2 & O_1O_3 & O_2O_4 \\ [\{1\} & \{2\} & \{3\} & \neq & \neq & \neq] \end{array}$$

также пуста. Этот вывод сделан согласно *утверждениям 6 и 7* на основе следующих рассуждений: анализируя $(O_1=1)$ и $(O_1 \neq O_2)$, получается, что $O_2=2$. Далее, анализируя $(O_2=2)$ и $(O_4=2)$ и $(O_2 \neq O_4)$, выявляется противоречие.

Таким образом, объекты $O_1 - O_4$ формируют «ядро» соответствующих кластеров и не могут мигрировать.

Осталось проверить последнюю компоненту вектора решений $O_5=1$:

$$(O_1=1) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4) \models (O_5=1).$$

Для формулы $(O_1=1) \wedge (O_5=2) \wedge (O_1 \neq O_2) \wedge (O_1 \neq O_3) \wedge (O_2 \neq O_4)$ можно подобрать следующую выполняющую подстановку $O_1=1, O_2=2, O_3=2, O_4=1, O_5=2$. Таким образом, логическое следование для O_5 не выполняется, объект O_5 может попадать как в первый, так и во второй кластеры, т.е. лежит на границе кластеров.

Таким образом, можно сделать вывод, что «ядро» кластера «1» составляют объекты O_1 ,

O_4 , «ядро» кластера «2» – объекты O_2 , O_3 . Объект O_5 является «мигрирующим».

Второй способ выявления множества объектов, формирующих «ядра» кластеров, сводится к анализу всех полученных оптимальных разбиений. Для этого составляется таблица разбиений объектов по кластерам на основании двух полученных решений (см. таблицу 2).

Из такого представления видно, какие объекты при любом разбиении попадают в один кластер и формируют его «ядро», а какие «мигрируют».

Таблица 2 – Разбиение объектов на кластеры на основании двух решений

Объекты	Кластеры
O_1	1
O_2	2
O_3	2
O_4	1
O_5	1, 2

Заключение

При решении практически значимых задач интеллектуального анализа данных поиск глобального оптимума сильно затруднён большими объёмами обучающих выборок. Для снижения остроты данной проблемы предлагается использовать современные технологии ускорения комбинаторного поиска, позволяющие учитывать и анализировать разнообразные экспертные знания о ПрО с целью раннего исключения заведомо неперспективных альтернатив, что обеспечивает пошаговую редукцию пространства поиска. Анализ знаний о ПрО обычно существенно упрощает решение задач комбинаторного поиска, к которым относится и рассматриваемая задача кластеризации с частичным привлечением учителя. Как правило, подобные задачи кластеризации решаются путём модификации известных методов локального поиска, при этом находится хотя бы одно решение задачи, причём не гарантировано, что оптимальное [21].

В работе описан подход к систематическому поиску глобального оптимума в рассматриваемых задачах кластеризации в рамках парадигмы программирования в ограничениях. Задачу кластеризации с частичным привлечением учителя предложено решать как задачу удовлетворения ограничений. Для моделирования основных и ряда дополнительных условий используются специализированные табличные ограничения – *смайт*-таблицы *D*-типа. При этом, введение дополнительных ограничений не только не замедляет вычислений, но и способствует выполнению более глубокой редукции пространства поиска.

При использовании предлагаемого подхода на основе анализа одного из оптимальных решений задачи может быть сделан вывод о том, какие объекты лежат на границе кластеров, а какие принадлежат одному и тому же кластеру при любом оптимальном разбиении. Данный анализ опирается на теоретико-множественную трактовку отношения логического следования $P(x) \models Q(x)$ и выполняется путём вычисления алгебраических выражений со *смайт*-таблицами, моделирующими области истинности M_P и M_Q предикатов $P(x)$ и $Q(x)$, соответственно.

Представленные исследования выполнены в рамках темы НИР «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнедеятельностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации». При исследовании критических инфраструктур, к числу которых относятся транспортная, топливная, инфраструктура многих промышленных предприятий, особую важность приобретают методы объяснимого (интерпретируемого) искусственного интеллекта, ввиду слишком высокой цены ошибки при принятии управленческих решений. Важной задачей в процессе управления критическими инфраструктурами является определение областей «родственных» состояний, в пределах которых объект управления ведёт себя примерно одинаково, несмотря на некоторые различия в значениях параметров. С этой задачей тесно связана задача выявления условий значимого изменения состояния, приводящего к изменению пове-

дения объекта управления. В качестве инструмента решения упомянутых задач предложено использовать авторские методы кластеризации, которые позволяют выявлять глобальный оптимум и определять «ядра» кластеров, т.е. множество объектов при любом оптимальном разбиении принадлежащих определённому кластеру.

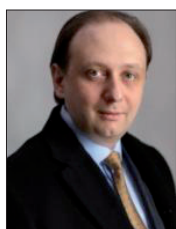
Часто решение задачи кластеризации предшествует решению задачи классификации. На основе анализа «ядер» кластеров появляется возможность генерировать более качественные правила классификации, чем на основе некоторого одного разбиения, обеспечивающего локальный оптимум. Разработанный метод кластеризации представляется эффективным инструментом подготовки информации, необходимой для извлечения из больших наборов данных причинно-следственных зависимостей между регистрируемыми событиями, возникающими в процессе управления безопасностью и жизнеспособностью критических инфраструктур. Повышение качества выявленных причинно-следственных связей способствует повышению оперативности выработки управляющих воздействий, что крайне важно при прогнозировании (предотвращении) и/или ликвидации негативных последствий внештатных ситуаций на объектах критических инфраструктур. Метод был успешно применён для определения зон участка горного массива с различным уровнем сейсмической активности, что позволило обеспечить требуемый уровень безопасности при проведении горных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Grossi V., Romei A., Turini F.** Survey on using constraints in data mining // *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2017. № 2. P.424-464. DOI: 10.1007/s10618-016-0480-z.
- [2] **Dao T.-B.-H., Duong K.-C., Vrain C.** Constrained clustering by constraint programming. // *Artificial Intelligence*. 2017. № 244. P.70-94. DOI: 10.1016/j.artint.2015.05.006.
- [3] **Qin Y., Ding S., Wang L., Wang Y.** Research Progress on Semi-Supervised Clustering. // *Cognitive Computation*. 2019. №11. P.599-612. DOI: 10.1007/s12559-019-09664-w.
- [4] **Falkner J.K., Thyssens D., Bdeir A., Schmidt-Thieme L.** Learning to Control Local Search for Combinatorial Optimization // *ECML PKDD 2022: Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, (Grenoble, France 2022 September 19-23). P.361–376. DOI: 10.1007/978-3-031-26419-1_22.
- [5] **Gabbrielli M., Martini S.** Programming Languages: Principles and Paradigms. Cham: Springer, 2023. 561 p.
- [6] **Зуенко А.А.** Компактное представление ограничений на основе новой интерпретации понятия «кортеж многоместного отношения» // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.503-515. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-503-515.
- [7] **Зуенко А.А., Зуенко О.Н.** Поиск зависимостей в данных на основе методов удовлетворения табличных ограничений // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №3(49). С.392-404. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-392-404.
- [8] **Sinaga K.P., Yang M.-S.** Unsupervised K-Means Clustering Algorithm // *IEEE Access*. 2020. № 8. P.80716-80727. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988796.
- [9] **Ran X., Xi Y., Lu Y., Wang X., Lu Z.** Comprehensive survey on hierarchical clustering algorithms and the recent developments // *Artificial Intelligence Review*. 2022. № 56. P.8219-8264. DOI: 10.1007/s10462-022-10366-3.
- [10] **King C.** A spectral-based clustering algorithm for directed graphs // *CSE 521: “Design and Analysis of Algorithms”* — Fall 2020. P.1-8.
- [11] **Brubach B., Chakrabarti D., Dickerson J.P., Srinivasan A., Tsepenekas L.** Fairness, Semi-Supervised Learning, and More: A General Framework for Clustering with Stochastic Pairwise Constraints. In: *Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. (2021 February 2-9.). P.6822–6830. DOI: 10.1609/aaai.v35i8.16842.
- [12] **Bibi A., Alqahtani A., Ghanem B.** Constrained Clustering: General Pairwise and Cardinality Constraints // *IEEE Access*. 2023. № 11. P.5824-5836. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3236608.
- [13] **Li M., Xu D., Zhang D., Zou J.** The seeding algorithms for spherical k-means clustering // *Journal of global optimization*. 2019. № 76. P.695-708. DOI: 10.1007/s10898-019-00779-w.
- [14] **Wagstaff K., Cardie C., Rogers S., Schrödl S.** Constrained K-means Clustering with Background Knowledge // In *Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning (Williamstown, USA 2001 June 28 – July 1)*. P.577-584.
- [15] **MacQueen J.B.** Some Methods for Classification and Analysis of MultiVariate Observations // In *Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (Berkeley, USA 1967)*. P.281-297.

- [16] **Baumann P., Hochbaum D.S.** A k-Means Algorithm for Clustering with Soft Must-link and Cannot-link Constraints // In Proceedings of the 11th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (Vienna, Austria 2022 February 3-5). P.195-202. DOI: 10.5220/00108000000003122.
- [17] **Svehla J.** Active Semi-Supervised Clustering. Master's thesis. Prague: Faculty of Information Technology, 2018. 63 p.
- [18] **Li M., Xu D., Yue J., Zhang D.** The seeding algorithm for k-means problem with penalties // Journal of Combinatorial Optimization. 2020. № 39. P.15-32. DOI: 10.1007/s10878-019-00450-w.
- [19] **Khong M.T.** Algorithms for table constraints and soft-regular constraints. Louvain-la-Neuve. UCLouvain. 2019. 105 p.
- [20] **Чень Ч., Лу П.** Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. М.: Наука, 1983. 360 с.
- [21] **Lattanzi S., Sohler C.** A Better k-means++ Algorithm via Local Search. In: Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (Long Beach, USA, 2019) P. 3662-3671.

Сведения об авторах



Зуенко Александр Анатольевич, 1983 г.р., к.т.н. (2009), ведущий научный сотрудник Института информатики и математического моделирования имени В.А. Путилова ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Области научных интересов: программирование в ограничениях; моделирование слабо формализованных предметных областей. ORCID: 0000-0002-7165-6651; Author ID (RSCI): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru. ✉



Зуенко Ольга Николаевна, 1980 г.р., младший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования имени В.А. Путилова ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Область научных интересов: машинное обучение. ORCID: 0000-0001-5431-7538; Author ID (RSA): 1069604; Author ID (Scopus): 57222359556; Researcher ID (WoS): HKN-6360-2023. ozuenko@iimm.ru.

Поступила в редакцию 05.03.2024, после рецензирования 2.07.2024. Принята к публикации 10.07.2024.



Clustering using table constraint satisfaction methods

© 2024, A.A. Zuenko✉, O.N. Zuenko

Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»,
Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling, Apatity, Russia

Abstract

The research focuses on developing cluster analysis methods, specifically clustering methods with partial teacher involvement, where background knowledge from the subject area is used when assigning objects to classes. The traditional approach to this problem involves modifying existing clustering methods, most of which are local search methods. The article proposes a systematic approach to searching for optimal partitions within the constraint programming paradigm. The originality of this research lies in solving the clustering problem as a constraint satisfaction problem, utilizing specialized table constraints, known as D-type smart tables, to model basic and additional conditions. Table constraint reduction rules are employed to organize logical inference procedures on D-type smart tables. The advantages of this approach are discussed, demonstrating how analyzing one of the optimal solutions can help identify objects on the boundary of clusters and those belonging to the same cluster for any optimal partition.

Keywords: constraint programming, table constraints, clustering, data mining, machine learning

For citation: Zuenko AA, Zuenko ON. Clustering using table constraint satisfaction methods [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 391-407. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-391-407.

Financial Support: The work was carried out within the framework of the current research topic "Development of theoretical and organizational and technical foundations of information support for managing the viability of regional critical infrastructures of the Arctic zone of the Russian Federation" (registration number 122022800547-3).

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

List of figures and tables

Figure 1 - Partition options

Table 1 - The distance matrix for the two-cluster partitioning problem

Table 2 - Partitioning objects into clusters based on two solutions

References

- [1] Grossi V, Romei A, Turini F. Survey on using constraints in data mining // *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2017. № 2. P. 424-464. DOI: 10.1007/s10618-016-0480-z.
- [2] Dao T-B-H, Duong K-C, Vrain C. Constrained clustering by constraint programming. // *Artificial Intelligence*. 2017. № 244. P.70-94. DOI: 10.1016/j.artint.2015.05.006.
- [3] Qin Y, Ding S, Wang L, Wang Y. Research Progress on Semi-Supervised Clustering. *Cognitive Computation*. 2019; 11: 599-612. DOI: 10.1007/s12559-019-09664-w.
- [4] Falkner JK, Thyssens D, Bdeir A, Schmidt-Thieme L. Learning to Control Local Search for Combinatorial Optimization // *ECML PKDD 2022: Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, (Grenoble, France 2022 September 19-23) P.361–376. DOI: 10.1007/978-3-031-26419-1_22.
- [5] Gabrielli M, Martini S. *Programming Languages: Principles and Paradigms*. Cham: Springer, 2023. 561 p.
- [6] Zuenko AA. Compact representation of constraints based on a new interpretation of the concept "tuple of a multi-place relation" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 503-515. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-503-515.
- [7] Zuenko AA, Zuenko ON. Finding dependencies in data based on methods of satisfying table constraints [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(3): 392-404. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-392-404.
- [8] Sinaga KP, Yang M-S. Unsupervised K-Means Clustering Algorithm // *IEEE Access*. 2020. № 8. P. 80716-80727. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988796.

- [9] **Ran X, Xi Y, Lu Y, Wang X, Lu Z.** Comprehensive survey on hierarchical clustering algorithms and the recent developments // *Artificial Intelligence Review*. 2022. № 56. P. 8219-8264. DOI: 10.1007/s10462-022-10366-3.
- [10] **King C.** A spectral-based clustering algorithm for directed graphs // *CSE 521: "Design and Analysis of Algorithms"* — Fall 2020. P. 1-8.
- [11] **Brubach B, Chakrabarti D, Dickerson JP, Srinivasan A, Tsepenekas L.** Fairness, Semi-Supervised Learning, and More: A General Framework for Clustering with Stochastic Pairwise Constraints. In: *Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. (2021 February 2-9.) P. 6822–6830. DOI: 10.1609/aaai.v35i8.16842.
- [12] **Bibi A, Alqahtani A, Ghanem B.** Constrained Clustering: General Pairwise and Cardinality Constraints // *IEEE Access*. 2023. № 11. P. 5824 - 5836. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3236608.
- [13] **Li M, Xu D, Zhang D, Zou J.** The seeding algorithms for spherical k-means clustering // *Journal of global optimization*. 2019. № 76. P. 695-708. DOI: 10.1007/s10898-019-00779-w.
- [14] **Wagstaff K, Cardie C, Rogers S, Schrödl S.** Constrained K-means Clustering with Background Knowledge // In *Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning (Williamstown, USA 2001 June 28 - July 1)*. P. 577-584.
- [15] **MacQueen JB.** Some Methods for Classification and Analysis of MultiVariate Observations // In *Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (Berkeley, USA 1967 June 21-July 18, 1965, December 27, 1965-January 7, 1966)*. P. 281-297.
- [16] **Baumann P, Hochbaum DS.** A k-Means Algorithm for Clustering with Soft Must-link and Cannot-link Constraints // In *Proceedings of the 11th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (Vienna, Austria 2022 February 3-5)*, P 195-202. DOI: 10.5220/00108000000003122.
- [17] **Svehla J.** Active Semi-Supervised Clustering. Master's thesis. Prague: Faculty of Information Technology, 2018. 63 p.
- [18] **Li M, Xu D, Yue J, Zhang D.** The seeding algorithm for k-means problem with penalties // *Journal of Combinatorial Optimization*. 2020. № 39. P. 15-32. DOI: 10.1007/s10878-019-00450-w.
- [19] **Khong MT.** Algorithms for table constraints and soft-regular constraints. Louvain-la-Neuve. UCLouvain. 2019. 105 p.
- [20] **Chen C, Li P.** Mathematical logic and automatic proof of theorems. [In Russian]. Moscow: Nauka, 1983. 360 p.
- [21] **Lattanzi S, Sohler C.** A Better k-means++ Algorithm via Local Search. In: *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (Long Beach, USA, 2019)* P. 3662-3671.

About the authors

Alexander Anatolyevich Zuenko (b. 1983) graduated from the Petrozavodsk State University (Apatity, Russia) in 2005, PhD (2009), a leading researcher at the Institute of Informatics and Mathematical Modeling, a Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). The areas of scientific interests include constraint programming and modeling in poorly formalized subject domains. ORCID: 0000-0002-7165-6651; Author ID (RSA): 528493; Author ID (Scopus): 26536974000; Researcher ID (WoS): E-7944-2017. zuenko@iimm.ru ✉.

Olga Nikolaevna Zuenko (b. 1980) graduated from the Petrozavodsk State University (Apatity, Russia) in 2002, a junior researcher at the Institute of Informatics and Mathematical Modeling, a Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). The area of scientific interest lies in machine learning. ORCID: 0000-0001-5431-7538; Author ID (RSA): 1069604; Author ID (Scopus): 57222359556; Researcher ID (WoS): HKN-6360-2023. ozuenko@iimm.ru.

Received March 4, 2024. Revised July 2, 2024. Accepted July 10, 2024.



Автоматическое оценивание эксплойтов на основе методов глубокого обучения

© 2024, Н.А. Бусько¹, Е.В. Федорченко², И.В. Котенко²✉

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Оценивание и приоритизация программ, использующих уязвимости в программном обеспечении и применяемых для проведения кибератак на вычислительную систему (эксплойтов), является важным этапом эффективного реагирования на кибератаки. В данной работе предлагается методика автоматического оценивания эксплойтов, в которой на этапе проектирования выполняется обучение модели для классификации эксплойтов методами глубокого обучения, а на этапе эксплуатации обученная модель используется для вывода оценки критичности эксплойта. В основу методики положена гипотеза о том, что сложность применения эксплойта, последствия его применения и его оценка зависят от эксплуатируемой уязвимости и исходного кода эксплойта. Предложенная методика отличается от существующих применением для классификации эксплойтов модели *CodeBERT* на основе размеченного набора исходных кодов эксплойтов, а также разметкой исходных кодов эксплойтов в соответствии с оценками связанных уязвимостей по системе оценки уязвимостей *CVSS (Common Vulnerability Scoring System)* версии 2.0. Для экспериментальной оценки разработанной методики определены источники данных (база эксплойтов *Exploits-DB* и база уязвимостей *NVD*) и исходные данные для экспериментов, выполнен их статистический анализ, проведена экспериментальная оценка точности классификации эксплойтов. Полученные результаты могут использоваться при проектировании систем автоматического оценивания эксплойтов в рамках комплекса мер по мониторингу и повышению защищенности информационных систем.

Ключевые слова: эксплойт, уязвимость, оценка, глубокое обучение, классификация данных, *CodeBERT*.

Цитирование: Бусько Н.А., Федорченко Е.В., Котенко И.В. Автоматическое оценивание эксплойтов на основе методов глубокого обучения // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.408-420. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-408-420.

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-21-00498 в СПб ФИЦ РАН.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В настоящее время можно выделить две тенденции, которые существенно влияют на развитие кибератак. Это повсеместная цифровизация, т.е. внедрение цифровых технологий, и развитие методов генеративного искусственного интеллекта (ИИ), т.е. ИИ, способного создавать новый контент. Повсеместная цифровизация приводит к увеличению поверхности кибератак (области их применения), а развитие методов генеративного ИИ – к автоматизации процесса проведения кибератак, в т.ч. этапа написания эксплойтов¹ для использования уяз-

¹ Экспло́йт (англ. *exploit*, эксплуатировать) — компьютерная программа, фрагмент программного кода или последовательность команд, использующие уязвимости в программном обеспечении и применяемые для проведения атаки на информационную систему.

вимостей. Чтобы эффективно противостоять киберугрозам, необходимо автоматизировать процессы выявления, оценивания и предотвращения успешного выполнения кибератак [1, 2].

В то время как вопросы автоматизации выявления кибератак, в т.ч. с использованием эксплойтов, рассматриваются во многих исследованиях, вопросы автоматизации оценивания эксплойтов остаются не исследованными. В данной работе выдвигается гипотеза, что сложность применения эксплойта, последствия его применения и его оценка зависят от эксплуатируемой уязвимости и исходного кода эксплойта. Исходя из этой гипотезы, предлагается подход к проектированию системы автоматического оценивания эксплойтов на основе оценок связанных с ними уязвимостей и последующему применению этой системы при реализации кибератак. Подход включает этапы сбора и подготовки набора данных, обработки данных, обучения моделей методами глубокого обучения (ГО).

Этап применения проектируемой системы включает вывод оценки для эксплойта с использованием обученной модели. В качестве набора данных выбран набор исходных кодов эксплойтов из базы эксплойтов *EDB*², размеченный в соответствии с оценками связанных уязвимостей по системе оценки уязвимостей *CVSS* (*Common Vulnerability Scoring System*) версии 2.0 [3]. Определено три способа разметки по классам в соответствии с оценками *CVSS*: по интегральной оценке критичности (выделено 3 класса), по промежуточным показателям *CVSS* (выделено 46 классов) и по атомарным показателям *CVSS* (выделено 67 классов). Для обработки данных использовались методы токенизации для перевода исходного кода эксплойтов в эмбединги³. Для обучения модели на основе трансформера [4] использовались методы ГО. Результатом классификации эксплойтов с применением обученной модели является оценка критичности эксплойта в соответствии с интегральной оценкой, промежуточными показателями и атомарными показателями *CVSS*. На практике такая система позволит оценивать новые эксплойты, не имеющие связи с уязвимостями, или те эксплойты, для которых связанные уязвимости не имеют оценки.

1 Методы и применение машинного и глубокого обучения

Решается задача классификации эксплойтов, целью которой является выбор метки для каждого экземпляра в наборе данных на основе входных признаков. Рассмотрены известные методы машинного обучения (МО) и ГО от классических алгоритмов МО до глубоких нейронных сетей (НС). К классическим алгоритмам относятся логистическая регрессия [5], метод опорных векторов (*Support Vector Machine, SVM*) [6], деревья решений и ансамбли [7], стохастический градиентный бустинг⁴ [8], случайный лес (*Random Forest, RF*) [9], наивный Байесовский классификатор [10]. К методам ГО относятся искусственные НС (*Artificial Neural Networks, ANN*) [11], свёрточные НС (*Convolutional Neural Networks, CNN*) [12], рекуррентные НС (*Recurrent neural network, RNN*) [13, 14], долгая краткосрочная память (*Long short-term memory, LSTM*) [15], модели на основе трансформеров [4] и др.

Методы МО и ГО применяются для решения различных задач, связанных с анализом исходного кода. Статья [16] посвящена задаче автоматического определения языка программирования исходного кода с использованием методов МО. В ней для классификации используется метод максимальной энтропии. Объединённая грамматика создаётся автоматически на основе обучающего набора данных, затем эта грамматика используется для извлечения наиболее представительных грамматических конструкций, которые служат признаками для

² *Exploit Database*. <https://www.exploit-db.com/>.

³ Эмбединг (англ. *embedding*, встраивание) — вектор, представленный в виде массива чисел, который получается в результате преобразования данных (например, текста).

⁴ Бустинг (англ. *boosting*, усиление) — ансамблевый метаалгоритм МО.

классификации. Достигается точность классификации 99 % при определении 29 языков программирования. Анализ исходного кода применяется также в задачах рефакторинга кода. В работе [17] глубокие НС используются для атрибуции исходного кода.

Анализ исходного кода активно применяется в области информационной безопасности. В частности, для обнаружения и классификации вредоносного программного обеспечения [18, 19] и для обнаружения уязвимостей [20–23].

Наиболее близким к данной работе является исследование [24], в котором используются методы ИИ и обработки естественного языка для автоматической категоризации уязвимых фрагментов исходного кода в соответствии с общей системой перечисления слабых мест (*Common Weakness Enumeration, CWE*⁵). В этой работе используются методы «мешок слов» (*Bag-of-Words*) и последовательности токенов для представления исходного кода, *word2vec*, *fastText*, *BERT* и *CodeBERT* для векторизации слов, *RF*, *SVM* и трансформеры для обучения моделей. Результаты исследования показали эффективность применения контекстных эмбедингов предобученных моделей на базе трансформеров для классификации уязвимостей в исходном коде.

Ряд работ посвящён вопросам оценивания уязвимостей. В работе [25] показано применение методов обработки естественного языка для автоматического оценивания уязвимостей на основе их описаний, в работе [26] *CVSS* векторы для уязвимостей прогнозируются путём применения МО к их текстовым описаниям.

2 Система автоматического оценивания эксплоитов с использованием методов ГО

Для проектирования системы автоматического оценивания эксплоитов разработаны методики: сбора и подготовки набора данных; обработки набора данных; обучения моделей классификации эксплоитов для их оценивания. Этап применения системы включает вывод оценки для эксплоита с использованием обученной модели (рисунок 1).

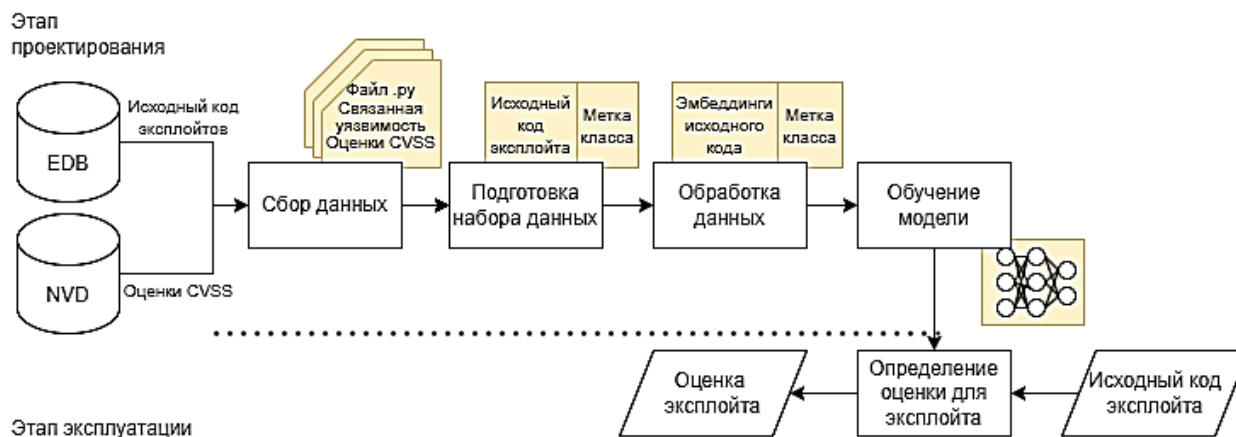


Рисунок 1 – Архитектура системы автоматического оценивания эксплоитов

2.1 Сбор и подготовка набора данных

В качестве набора данных выбран набор исходных кодов эксплоитов из *EDB*, размеченный в соответствии с оценками связанных уязвимостей по *CVSS* [3]. Эксплоит в *EDB* описывается следующими полями: уникальный идентификатор; ссылка на уязвимость в формате

⁵ *Common Weakness Enumeration*. <https://cwe.mitre.org/index.html>.

открытых уязвимостей и дефектов *CVE*⁶; автор эксплойта; тип атаки; платформа, для которой предназначен эксплойт; дата публикации эксплойта; исходный код эксплойта.

Всего *EDB* содержит 52023 эксплойта. Собрано и рассмотрено 48316 эксплойтов. Для этого набора данных выполнен анализ по значениям следующих полей: используемый язык программирования; целевая платформа; год создания эксплойта.

Оценка распределения эксплойтов по используемому языку программирования показала, что наиболее используемыми языками являются *Python*, *C*, *Perl*, *Ruby* и *HTML*. Для исследования выбраны 4139 эксплойтов, написанные на языке программирования *Python*.

Оценка распределения эксплойтов по целевой платформе показала, что наибольшее количество эксплойтов направлено на удалённые серверы и веб-приложения. Наибольшее количество эксплойтов было создано в 2010 г.

Для разметки исходных кодов эксплойтов выбраны оценки связанных уязвимостей по системе оценки уязвимостей *CVSS* версии 2.0, представленные в базе данных уязвимостей *NVD*⁷. Система оценки уязвимостей *CVSS* версии 2.0 включает базовые, временные и контекстные показатели, а в *NVD* представлены только базовые показатели.

CVSS версии 2.0 включает следующие базовые показатели, для которых в скобках указаны их возможные значения [27]: «Вектор доступа» («Локальный», «Смежная сеть», «Сетевой»), «Сложность доступа» («Высокий», «Средний», «Низкий»), «Аутентификация» («Множество», «Один», «Нет»), «Влияние на конфиденциальность» («Нет», «Частичное», «Полное»), «Влияние на целостность» («Нет», «Частичное», «Полное»), «Влияние на доступность» («Нет», «Частичное», «Полное»).

На основе показателей «Вектор доступа», «Сложность доступа» и «Аутентификация» рассчитывается интегральный показатель «Эксплуатируемость» («Недоказанная», «Концептуальная», «Функциональная», «Высокая»). На основе показателей «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность» и «Влияние на доступность» рассчитывается интегральный показатель «Ущерб». На основе показателей «Эксплуатируемость» и «Ущерб» рассчитывается базовая оценка уязвимости по *CVSS*, или «Критичность» уязвимости («Высокая», «Средняя», «Низкая»).

Общее количество эксплойтов, написанных на языке *Python* и имеющих ссылки на уязвимости, - 1647. Размер обучающей выборки, полученный суммированием количества символов в файлах с исходным кодом эксплойтов, составляет 26326807 символов. Из 1647 эксплойтов оценки по стандарту *CVSS* версии 2.0 обнаружены для 1565 записей.

Определено три способа разметки эксплойтов по классам в соответствии со значениями метрик *CVSS* связанных уязвимостей: по базовой оценке уязвимости «Критичность», по промежуточным показателям *CVSS* «Эксплуатируемость» и «Ущерб», по атомарным показателям *CVSS* «Аутентификация», «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность», «Влияние на доступность», «Вектор доступа» и «Сложность доступа». Каждый выделенный класс эксплойтов соответствует уникальной комбинации значений метрик и определяет степень ущерба, который может быть причинён использованием эксплойта.

2.2 Обработка данных

Для обработки данных использовались методы токенизации для перевода исходного кода эксплойтов в эмбединги. В данном исследовании для предобработки данных использовался токенизатор *RobertaTokenizer* от модели *CodeBERT* [28]. Результатом этапа обработки данных являются эмбединги исходных кодов и метки соответствующих классов.

⁶ *Common Vulnerabilities and Exposures*. <https://www.cve.org/>

⁷ *National Vulnerability Database*. <https://nvd.nist.gov/>.

2.3 Обучение моделей

Для обучения модели использовались методы ГО, в частности модель *CodeBERT*. *CodeBERT* является расширением модели-трансформера *BERT* (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) [29]. Она представляет собой предварительно обученную модель для языков программирования (*programming language, PL*) и естественных языков (*natural language, NL*). *CodeBERT* была обучена на парах *NL-PL* на шести языках программирования (*Python, Java, JavaScript, PHP, Ruby, Go*). *CodeBERT* включает 12 слоёв и 125 млн параметров [28].

Схема работы *CodeBERT* представлена на рисунке 2:

- 1) на вход подаётся пара «исходный код» - «комментарий»;
- 2) случайным образом выбирается часть токенов, которые заменяются специальным токеном *[MASK]*;
- 3) модель *CodeBERT* обучается прогнозировать замаскированные токены;
- 4) к необработанным предсказаниям модели применяется функция активации *Softmax*, которая преобразует их в вектор вероятностей.

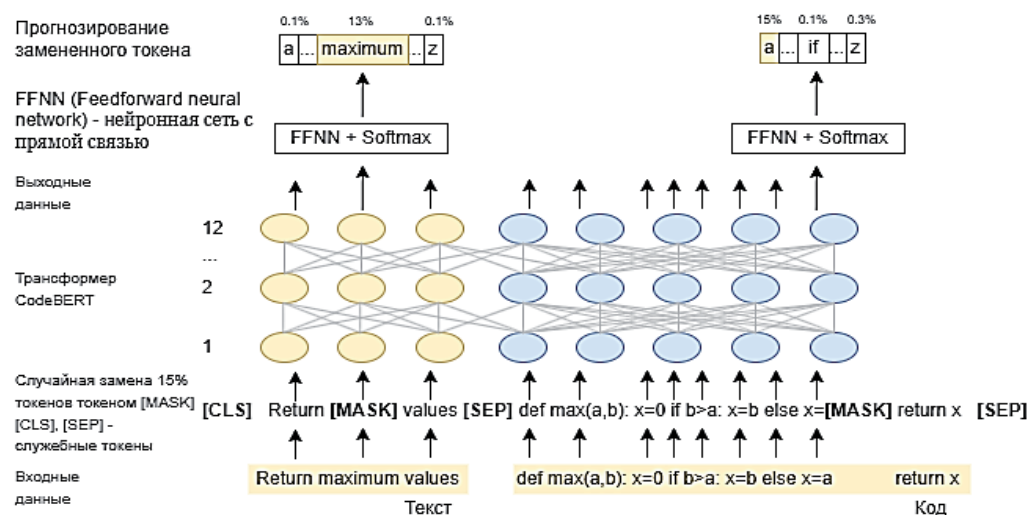


Рисунок 2 – Схема работы *CodeBERT*

Процесс обучения модели осуществляется путём оптимизации параметров с целью минимизации функции потерь и включает следующие этапы:

- 1) *Прямое распространение сигнала.* Токенизированные данные подаются на вход модели, и вычисляются выходные представления для каждой последовательности. При этом вначале входные идентификаторы токенов преобразуются в эмбединги – многомерные матрицы исходных токенов, к которым применена маска внимания, указывающая, какие токены в последовательности являются значимыми, а какие – нет. Эмбединги проходят через несколько слоёв энкодера, внутри которых выполняются операции: самовни-мания, нормализация, позиционные и линейные преобразования. В результате этих операций на выходе энкодера формируются логиты – необработанные предсказания модели. Далее применяется функция активации *Softmax*, которая преобразует вектор логитов в вектор вероятностей.
- 2) *Вычисление функции потерь.* Разница между выходными представлениями модели и истинными метками оценивается с помощью функции потерь. В исследовании применяется функция потерь кросс-энтропии *LogSoftmax*, которая вычисляет логарифмы вероятностей, а затем суммирует отрицательные логарифмы. Далее применяется отрицательная логарифмическая вероятность для вычисления отрицательного логарифма вероятности правильного класса. Затем вычисляется кросс-энтропия между предсказанными значениями и истинными метками.
- 3) *Обратное распространение ошибки.* Градиенты функции потерь вычисляются относительно параметров модели. Они впоследствии используются для обновления весов модели.
- 4) *Обновление параметров.* Параметры модели обновляются с использованием метода оптимизации. За обновление параметров модели (весов НС) за счёт минимизации функции потерь на каждом шаге обучения

отвечает оптимизатор, т.е. с его помощью определяется, каким образом и на сколько должны изменяться веса НС на каждом шаге обучения для улучшения предсказательной способности модели. В данном исследовании используется оптимизатор *AdamW* (*Adaptive Moment Estimation with Weight Decay*) [30]. Кроме того обновляется скорость обучения, т.е. насколько сильно изменяются веса на каждом шаге обучения, с использованием планировщика. Проводится оценка модели по текущим параметрам: если текущая точность превышает ранее записанную, то она обновляется.

Обученная НС проходит этапы валидации и тестирования. Результатом классификации эксплойтов с использованием обученной модели является оценка критичности эксплойта в соответствии с интегральной оценкой, промежуточными показателями и атомарными показателями *CVSS*.

3 Экспериментальная оценка предложенного подхода

Для проведения экспериментов реализован прототип на языке *Python*⁸. Архитектура прототипа представлена на рисунке 3.

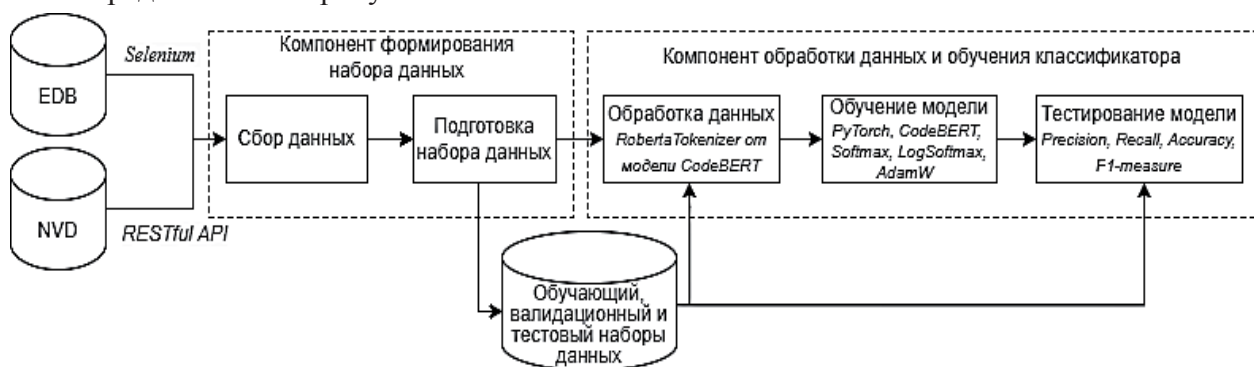


Рисунок 3 – Архитектура прототипа системы оценивания эксплойтов

3.1 Формирование набора данных

Входными данными были исходные коды эксплойтов, написанные на языке *Python*, из базы *EDB*, и оценки *CVSS* версии 2.0 для связанных с эксплойтами уязвимостей из базы *NVD*. Для сбора исходных кодов эксплойтов из *EDB* использовался фреймворк *Selenium* для *Python*. Для сбора данных об оценках *CVSS* версии 2.0 из *NVD* задействовался предоставляемый *NVD RESTful API*⁹. Результатом данного этапа является набор исходных кодов эксплойтов и соответствующие им *CVSS* оценки версии 2.0 (всего 1565 записей). На следующем этапе производилась разметка набора данных с учётом классов эксплойтов, выделенных в соответствии со значениями метрик *CVSS* связанных уязвимостей:

- (1) по интегральной оценке критичности связанной уязвимости «Критичность» (выделено 3 класса);
- (2) по промежуточным показателям *CVSS* «Эксплуатируемость» и «Ущерб» (выделено 46 классов);
- (3) по атомарным показателям *CVSS* «Аутентификация», «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность», «Влияние на доступность», «Вектор доступа» и «Сложность доступа» (67 классов).

Для повышения надёжности анализа введены пороговые значения количества экземпляров в классе: 35, 100 и 200. При пороговом значении 35 получено 9 уникальных классов для первого варианта классификации, 8 для второго и 3 для третьего. Для порога 100 классов получено по 4 класса для первых двух вариантов и 2 класса для третьего. При пороге в 200 экземпляров выявлено 2, 3 и 2 уникальных класса, соответственно. Каждый выделенный класс эксплойтов соответствует уникальной комбинации значений метрик и определяет степень ущерба, который может быть причинён использованием эксплойта.

⁸ https://github.com/nbusko/exploits_classifier_pipeline.

⁹ <https://nvd.nist.gov/developers/data-sources>.

С целью валидации модели собранный набор данных разделён на обучающую, тестовую и валидационную выборки в соотношении 80%, 15% и 5%. В результате сформировано 9 обучающих и 9 тестовых наборов данных. Фрагмент набора данных для классов, выделенных по интегральной оценке критичности связанной уязвимости «Критичность», представлен в таблице 1: в столбце «№» отображается порядковый номер записи, в столбце «Code» – фрагмент исходного кода эксплойта, в столбце «v2severity» – значение интегральной оценки «Критичность», в столбце «target» – метка класса.

Таблица 1 – Фрагмент набора данных для классов, выделенных по интегральной оценке критичности связанной уязвимости «Критичность»

№	Code	v2severity	target
0	#!/usr/bin/python\n# win7-crash.py:\n# Trigger a remote kernel crash on Win7 and server 2008R2 (infinite loop)\n# Crash in KeAccumulateTicks() due to NT_ASSERT()/DbgRaiseAssertionFailure() caused by an\n#infinite loop.\n#NO BSOD, YOU GOTTA PULL THE PLUG.\n#To trigger it fast: from the target:\n#this_script_ip addr\BLAH. instantly crash\n#Author: Laurent Gaffii;\n#\nimport SocketServer\nnpac...	HIGH	0
1	#!/usr/bin/python\n# HP Power Manager Administration Universal Buffer Overflow Exploit\n# CVE 2009-2685\n# Tested on Win2k3 Ent SP2 English, Win XP Sp2 English\n# Matteo Memelli ryujin _A-T_\n# offensive-security.com\n# www.offensive-security.com\n# Spaghetti & Pwnsauce - 07/11/2009\n#\n# ryujin@bt:~\$./hppermanager.py 172.16.30.203\n# HP Power Manager Administration Universal Buffer Overflow...	HIGH	0
2	+#!/usr/bin/python\n#\n##### \n#\n# Exploit Title : Serenity Audio Player Playlist (m3u) BOF\n# Discovered by\t : Rick from Corelan Team (ricks2600[at]gmail[dot]com)\n# Author : mr_me\n# Author contact : seeleymagic[at]hotmail[dot]com\n# Date : nov 24th, 2009\n# Type : local and rem...	HIGH	0
...	...	...	...
1562	#!/usr/bin/python3\n#\n# Exploit Title: Tenda N300 F3 12.01.01.48 - Malformed HTTP Request Header Processing\n# Shodan Dork: http favicon.hash:-2145085239 http.title:"Tenda LOGIN"\n# Date: 09/03/2023\n# Exploit Author: @h454nsec\n# Github: https://github.com/H454NSec/CVE-2020-35391\n# Vendor Homepage: https://www.tendacn.com/default.html\n# Product Link: https://www.tendacn.com/product/f3.ht...	Low	2
1563	# Exploit Title: NCH Express Invoice - Clear Text Password Storage and Account Takeover\n# Google Dork: intitle:Expressinvoice - Login\n# Date: 07/Apr/2020\n# Exploit Author: Tejas Nitin Pingulkar (https://cvewalkthrough.com/)\n# Vendor Homepage: https://www.nchsoftware.com/\n# Software Link: http://www.oldversiondownload.com/oldversions/express-8-05-2020-06-08.exe\n# Version: NCH Express Inv...	Low	2
1564	# WinFTP v2.3.0 DoS exploit\n# WinFTP URL - http://www.wftpserver.com/\n# DoS'ed when try to send data\n# (x)dmnt\n# -*- coding: windows-1252 -*-\n#\nimport socket\nimport time\nimport sys\nPORT = 21\n\ndef help_info():\n print ("Usage: winftp <host> <login> <password>")\n print ("Note: anonymous is enough")\n\n\ndef conn(hostname, username, passwd):\n sock = socket.socket(socket...	Low	2

3.2 Обработка данных и обучение классификатора

По результатам предыдущего этапа сформирован словарь с данными, содержащий исходный код эксплойта и метку класса. При обработке данных для перевода исходного кода эксплойтов в эмбединги выполняются следующие этапы:

- 1) извлечение исходного кода из элемента словаря;
- 2) токенизация кода с использованием *RobertaTokenizer*, после разделения строки на отдельные токены выполняется усечение списка токенов до заданного размера размера *block_size* (в данном исследовании – 2);
- 3) добавление специальных токенов – в начало каждой входной текстовой последовательности помещаются токены *[CLS]*, для разделения разных частей текста в одной последовательности и для обозначения конца последовательности используются токены *[SEP]*;
- 4) преобразование токенов в идентификаторы, т.е. в соответствующие им числовые идентификаторы из словаря токенизатора;
- 5) добавление отступа – список идентификаторов дополняется до размера блока.

Выходными данными этапа обработки данных является список токенов, список идентификаторов и метка класса. Обработанные данные используются для обучения классификатора. В исследовании применялась библиотека *PyTorch* для обучения модели *CodeBERT*. Основной цикл обучения классификатора выполняется следующим образом:

- 1) градиенты всех параметров модели инициализируются нулями;

- 2) инициализируется цикл, который будет выполняться в течение заданного числа эпох (в данном исследовании этот параметр равен 7) и включает этапы обучения классификатора, описанные в разделе 2:
 - 2.1) прямое распространение сигнала (получение вектора вероятностей для входной последовательности);
 - 2.2) расчёт градиентов функции потерь *LogSoftmax* относительно параметров модели, значения этих градиентов впоследствии используются для обновления весов модели;
 - 2.3) обновление параметров модели согласно градиентам с использованием оптимизатора *AdamW*;
 - 2.4) обнуление градиентов оптимизатора;
 - 2.5) обновление скорости обучения с использованием планировщика;
- 3) проводится оценка модели по текущим параметрам на валидационном наборе данных: если текущая точность превышает ранее записанную, то она обновляется до текущей.

3.3 Тестирование и оценка эффективности работы классификатора

В ходе исследования обучены 9 моделей. При обучении использовались наборы данных, отличающиеся выделенными в соответствии с показателями *CVSS* версии 2.0 классами и пороговыми значениями количества примеров для каждого класса.

В таблице 2 приведены названия моделей и соответствующие показатели *CVSS* версии 2.0 и пороги. Названия моделей сформированы следующим образом: «*models_{пороговое значение примеров}_{вариант компоновки метрик CVSS}_{количество уникальных классов}*».

Таблица 2 – Характеристики наборов данных, использовавшихся при обучении моделей

Название модели	Показатели <i>CVSS</i>	Порог	Количество уникальных классов
<i>models_200_var_1_unique2</i>	«Аутентификация», «Вектор доступа», «Сложность доступа», «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность», «Влияние на доступность»	200	2
<i>models_200_var_2_unique3</i>	«Эксплуатируемость», «Ущерб»	200	3
<i>models_200_var_3_unique2</i>	«Критичность»	200	2
<i>models_35_var_1_unique9</i>	«Аутентификация», «Вектор доступа», «Сложность доступа», «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность», «Влияние на доступность»	35	9
<i>models_35_var_2_unique8</i>	«Эксплуатируемость», «Ущерб»	35	8
<i>models_35_var_3_unique3</i>	«Критичность»	35	3
<i>models_100_var_1_unique4</i>	«Аутентификация», «Вектор доступа», «Сложность доступа», «Влияние на конфиденциальность», «Влияние на целостность», «Влияние на доступность»	100	4
<i>models_100_var_2_unique4</i>	«Эксплуатируемость», «Ущерб»	100	4
<i>models_100_var_3_unique2</i>	«Критичность»	100	2

Обученные классификаторы протестированы на данных, которые не были использованы в обучении моделей. Результаты приведены в таблице 3. Из таблицы 3 видно, что модель *models_100_var_2_unique4* имеет лучшие значения по всем показателям.

Предложенная методика автоматического оценивания эксплойтов методами ГО на основе размеченного в соответствии с оценками связанных уязвимостей по системе *CVSS* версии 2.0 набора исходных кодов эксплойтов положена в основу проектирования системы автоматического оценивания эксплойтов. С её помощью подтверждена гипотеза о том, что сложность применения эксплойта и последствия его применения, а значит и его оценка, зависят от эксплуатируемой уязвимости и исходного кода эксплойта.

Таблица 3 – Результаты тестирования обученных моделей

№	Название модели	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	F1-мера (F1-measure)	Точность (Accuracy)
0	<i>models 200 var 1 unique2</i>	0.648148	0.648148	0.648148	0.649123
1	<i>models 200 var 2 unique3</i>	0.589514	0.587402	0.586655	0.582278
2	<i>models 200 var 3 unique2</i>	0.693491	0.676142	0.674583	0.686275
3	<i>models 35 var 1 unique9</i>	0.462370	0.481367	0.462824	0.519380
4	<i>models 35 var 2 unique8</i>	0.567976	0.454073	0.479167	0.536765
5	<i>models 35 var 3 unique3</i>	0.484799	0.481756	0.480915	0.732484
6	<i>models 100 var 1 unique4</i>	0.576822	0.539749	0.552085	0.565657
7	<i>models 100 var 2 unique4</i>	0.768646	0.780400	0.765575	0.750000
8	<i>models 100 var 3 unique2</i>	0.710924	0.710924	0.710924	0.712418

Заключение

В работе предложен подход к проектированию системы автоматического оценивания эксплоитов, в основе которого лежит обучение модели для классификации исходных кодов эксплоитов по оценкам связанных уязвимостей методами ГО. Проанализированы базы данных эксплоитов и уязвимостей и собран набор исходных кодов эксплоитов для классификации. Предложена оригинальная разметка набора данных в соответствии с показателями *CVSS* применяемых в эксплоитах уязвимостей. Обучено 9 моделей на базе *CodeBERT* с использованием трёх вариантов выделения классов при разметке набора данных и разным пороговым значением примеров в классе. По результатам проведённых экспериментов лучшие значения по всем показателям получены на модели с пороговым значением примеров в классе – 100, вариантом компоновки метрик *CVSS* – «Эксплуатируемость», «Ущерб» и количеством уникальных классов – 4. В результате исследования подтверждена гипотеза, что сложность применения эксплойта, последствия его применения и оценка зависят от эксплуатируемой уязвимости и исходного кода эксплойта.

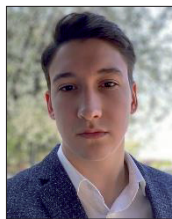
Полученные результаты могут использоваться для классификации и оценки эксплоитов с открытым исходным кодом и новых эксплоитов, обнаруженных системами обнаружения вторжений, что позволит приоритезировать обнаруженные атаки при принятии решений о необходимости реагирования.

Список источников

- [1] *Котенко И.В., Саенко И.Б., Полубелова О.В., Чечулин А.А.* Технологии управления информацией и событиями безопасности для защиты компьютерных сетей // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2012. № 2. С. 57-68.
- [2] *Котенко И.В., Ушаков И.А.* Технологии больших данных для мониторинга компьютерной безопасности // Защита информации. Инсайд. 2017. № 3 (75). С. 23-33.
- [3] *Mell P., Scarfone K., Romanosky S.* A complete guide to the Common Vulnerability Scoring System. Version 2.0. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=51198.
- [4] *Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Polosukhin I., Kaiser Ł.* Attention is all you need // In: Proc. of the 31st Int. Conf. on Neural Information Processing Systems (NIPS'17). Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 2017. P.6000–6010.
- [5] *Akram Z., Majid M., Habib S.* A systematic literature review: usage of logistic regression for malware detection // In: Proc. of the 2021 Int. Conf. on Innovative Computing (Lahore, Pakistan, 2021). 2021. P.1-8. DOI: 10.1109/ICIC53490.2021.9693035.
- [6] *Ghanem K., Aparicio-Navarro F. J., Kyriakopoulos K. G., Lambbotharan S., Chambers J. A.* Support Vector Machine for network intrusion and cyber-attack detection // In: Proc. of the 2017 Sensor Signal Processing for Defence Conf. (London, UK, 2017). 2017. P.1-5. DOI: 10.1109/SSPD.2017.8233268.
- [7] *Breiman, L.* Bagging predictors // Mach. Learn. 1996. Vol. 24. P.123–140.

- [8] **Vu Q. H., Ruta D., Cen L.** Gradient boosting decision trees for cyber security threats detection based on network events logs // In: Proc. of the 2019 IEEE Int. Conf. on Big Data (Los Angeles, CA, USA, 2019). 2019. P.5921-5928. DOI: 10.1109/BigData47090.2019.9006061.
- [9] **Choubisa M., Doshi R., Khatri N., Kant Hiran K.** A simple and robust approach of random forest for intrusion detection system in cyber security // In: Proc. of the 2022 Int. Conf. on IoT and Blockchain Technology (Ranchi, India, 2022). 2022. P.1-5. DOI: 10.1109/ICIBT52874.2022.9807766.
- [10] **Mukherjee S., Sharma N.** Intrusion detection using naive Bayes classifier with feature reduction // Procedia Technology. 2012. Vol. 4. P.119–128. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.017>. 455.
- [11] **Prajay P., Subrato B., Rubaiyat M. M., Pinto P., Utku K.** Artificial Neural Network for Cybersecurity: A Comprehensive Review // Journal of Information Assurance & Security. 2021. Vol. 16. Issue 1. P.10.
- [12] **Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E.** ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems. 2012. P.15–30. <https://arxiv.org/abs/1207.0580>.
- [13] **Bengio Y., Ducharme R., Vincent P., Jauvin, C.** A Neural Probabilistic Language Model // Journal of Machine Learning Research. 1994. P.1–18. <https://www.jmlr.org/papers/volume3/bengio03a/bengio03a.pdf>.
- [14] **Pascanu R., Mikolov T., Bengio, Y.** On the difficulty of training recurrent neural networks // In: Proc. of the 30th Int. Conf. on Machine Learning. 2013. P.1–12. <https://arxiv.org/abs/1211.5063>.
- [15] **Laghrissi F., Douzi S., Douzi K., Hssina B.** Intrusion detection systems using long short-term memory (LSTM) // J Big Data. 2021. Vol. 8. Issue 65. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00448-4>.
- [16] **Shaul Z., Holzer C.** Machine learning based source code classification using syntax oriented features. *ArXiv* abs/1703.07638. 2017.
- [17] **Mateless R., Tsur O., Moskovitch R.** Pkg2Vec: Hierarchical package embedding for code authorship attribution // Future Gener. Comput. Syst. 2021. Vol. 116. P.49–60. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.020>.
- [18] **Sebastio S., Baranov E., Biondi F., Decourbe O., Given-Wilson T., Legay A., Puodzius C., Quilbeuf J.** Optimizing symbolic execution for malware behavior classification // Comput. Secur. 2020. Vol. 93. P.101775. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101775>.
- [19] **Naeem H., Ullah F., Naeem M. R., Khalid S., Vasan D., Jabbar S., Saeed S.** Malware detection in industrial internet of things based on hybrid image visualization and deep learning model // Ad Hoc Netw. 2020. Vol. 105. P.102154. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102154>.
- [20] **Sun H., Cui L., Li L., Ding Z., Hao Z., Cui J., Liu P.** VDSimilar: Vulnerability detection based on code similarity of vulnerabilities and patches // Comput. Secur. 2021. Vol. 110. P.102417. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102417>.
- [21] **Moti Z., Hashemi S., Karimipour H., Dehghantanha A., Jahromi A. N., Abdi L., Alavi F.** Generative adversarial network to detect unseen Internet of Things malware // Ad Hoc Netw. 2021. Vol. 122. P.102591. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102591>.
- [22] **Liu Z., Fang Y., Huang C., Xu Y.** MFXSS: An effective XSS vulnerability detection method in JavaScript based on multi-feature model // Comput. Secur. 2023. Vol. 124. P.103015. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103015>.
- [23] **Tian J., Xing W., Li Z.** BVDetector: A program slice-based binary code vulnerability intelligent detection system // Inf. Softw. Technol. 2020. Vol. 123. P.106289. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106289>.
- [24] **Kalouptoglou I., Siavvas M., Ampatzoglou A., Kehagias D., Chatzigeorgiou A.** Vulnerability classification on source code using text mining and deep learning techniques // In: Proc. of the 24th IEEE Int. Conf. on Software Quality, Reliability, and Security (QRS'24). 2024. P.1–10.
- [25] **Russo E.R., Di Sorbo A., Visaggio C.A., Canfora G.** Summarizing vulnerabilities' descriptions to support experts during vulnerability assessment activities // J. Syst. Softw. 2019. Vol. 156. P.84–99. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.06.001>.
- [26] **Kühn P., Relke D.N., Reuter C.** Common vulnerability scoring system prediction based on open source intelligence information sources // Comput. Secur. 2023. Vol. 131. P.103286. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103286>.
- [27] **Котенко И.В., Дойникова Е.В.** Методы оценивания уязвимостей: использование для анализа защищенности компьютерных систем // Защита информации. Инсайд. № 4 (40). 2011. С.74–81.
- [28] **Feng Z., Guo D., Kim J., Liu S.** CodeBERT: A Pre-Trained Model for Programming and Natural Languages // Advances in Natural Language Processing. 2020. P.1–12. <https://arxiv.org/abs/2002.08155>.
- [29] **Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Journal of Machine Learning Research. 2019. P.1–10. <https://arxiv.org/abs/1810.04805>.
- [30] **Loshchilov I., Hutter F.** Decoupled Weight Decay Regularization // In: Proc. of the Int. Conf. on Learning Representations. 2017. P.1–18. <https://arxiv.org/abs/1711.05101>.

Сведения об авторах



Бусько Никита Алексеевич, 2002 г. рождения. Окончил бакалавриат Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) в 2024 г. nikuto1@mail.ru.

Федорченко Елена Владимировна, 1986 г. рождения. Окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) в 2009 г., к.т.н. (2017). Старший научный сотрудник Лаборатории проблем компьютерной безопасности Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН. Является

автором более 100 научных публикаций, включая 2 монографии, и двух патентов на изобретения. ORCID: 0000-0001-6707-9153; Author ID (РИНЦ): 641554; Author ID (Scopus): 37097097100. doynikova@comsec.spb.ru.



Котенко Игорь Витальевич, 1961 г. рождения. С отличием окончил Военный инженерный Краснознамённый институт им. А.Ф. Можайского в 1983 г. и Военную академию связи в 1987 г., д.т.н. (1999), профессор (2021), заслуженный деятель науки Российской Федерации (2023). Главный научный сотрудник и руководитель Лаборатории проблем компьютерной безопасности Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН, профессор Университета ИТМО, СПбГУТ, УрФУ, Харбинского политехнического университета (КНР) и Хэйлунцзянского университета (КНР). В списке научных трудов более 800 работ в области безопасности компьютерных сетей, искусственного интеллекта, телекоммуникационных систем, включая 25 монографий, и более 90 патентов на изобретения и зарегистрированных программ. ORCID: 0000-0001-6859-7120; Author ID (РИНЦ): 110102; Author ID (Scopus): 15925268000. ivkote@comsec.spb.ru. ✉.

Поступила в редакцию 01.07.2024, после рецензирования 11.07.2024. Принята к публикации 16.07.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-408-420

Automatic exploit assessment based on deep learning methods

© 2024, N.A. Busko¹, E.V. Fedorchenko², I.V. Kotenko²✉

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract

Assessing and prioritizing programs that exploit software vulnerabilities and are used to carry out cyberattacks on a computer system (exploits) is crucial for effectively responding to cyberattacks. This paper presents a method for automatically assessing exploits, where a model is trained to classify exploits using deep learning methods during the design stage, and the trained model is used to derive an assessment of the exploit's criticality during the operation stage. The methodology is based on the hypothesis that the complexity of using an exploit, its consequences, and its assessment depend on the vulnerability being exploited and the source code of the exploit. This proposed methodology differs from existing ones by using the CodeBERT model to classify exploits based on a marked set of exploit source codes and by marking exploit source codes according to the assessments of associated vulnerabilities using the CVSS (Common Vulnerability Scoring System) version 2.0 vulnerability assessment system. For the experimental evaluation of the developed methodology, data sources (Exploits-DB exploit database and NVD vulnerability database) and initial data for experiments were identified, statistical analysis was performed, and an experimental assessment of the accuracy of exploit classification was carried out. The results obtained can be used in designing automatic exploit assessment systems as part of measures to monitor and improve the security of information systems.

Keywords: exploit, vulnerability, assessment, deep learning, data classification, CodeBert.

For citation: Busko NA, Fedorchenko EV, Kotenko IV. Automatic exploit assessment based on deep learning methods [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 408-420. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-408-420.

Financial Support: This research was supported by the grant of RSF #23-21-00498 in SPC RAS, <https://rscf.ru/en/project/23-21-00498>.

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

List of figures and tables

Figure 1 - The system for the automated exploits assessment

Figure 2 - CodeBERT scheme

Figure 3 - Architecture of the prototype exploit assessment system

Table 1 - Dataset for classes determined by the comprehensive assessment of the associated vulnerability's criticality, labeled as "Criticality"

Table 2 - Dataset properties used for the trained models

Table 3 - Results of testing trained models

References

- [1] **Kotenko IV, Saenko IB, Polubelova OV, Chechulin AA.** Technologies for managing information and security events to protect computer networks [In Russian]. *Information security problems. Computer systems*. 2012; 2: 57-68.
- [2] **Kotenko IV, Ushakov IA.** Big data technologies for computer security monitoring [In Russian]. *Information Security. Inside*. 2017; 3 (75): 23-33.
- [3] **Mell P, Scarfone K, Romanosky S.** A complete guide to the Common Vulnerability Scoring System. Version 2.0. Source: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=51198.
- [4] **Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, Uszkoreit J, Jones L, Gomez AN, Polosukhin I, Kaiser Ł.** Attention is all you need. In: *Neural Information Processing Systems*, proc. of the 31st Int. Conf. (NIPS'17). Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA; 2017: 6000–6010.
- [5] **Akram Z, Majid M, Habib S.** A systematic literature review: usage of logistic regression for malware detection. In: *Innovative Computing*, proc. of the 2021 Int. Conf. (Lahore, Pakistan, 2021). 2021: 1-8. DOI: 10.1109/ICIC53490.2021.9693035.
- [6] **Ghanem K, Aparicio-Navarro FJ, Kyriakopoulos KG, Lambbotharan S, Chambers JA.** Support Vector Machine for network intrusion and cyber-attack detection. In: *Sensor Signal Processing for Defence*, proc. of the 2017 Conf. (London, UK, 2017). 2017: 1-5. DOI: 10.1109/SSPD.2017.8233268.
- [7] **Breiman, L.** Bagging predictors. *Mach. Learn.* 1996; 24: 123–140.
- [8] **Vu QH, Ruta D, Cen L.** Gradient boosting decision trees for cyber security threats detection based on network events logs // In: *Proc. of the 2019 IEEE Int. Conf. on Big Data* (Los Angeles, CA, USA, 2019). 2019. P.5921-5928. DOI: 10.1109/BigData47090.2019.9006061.
- [9] **Choubisa M, Doshi R, Khatri N, Kant Hiran K.** A simple and robust approach of random forest for intrusion detection system in cyber security. In: *IoT and Blockchain Technology*, proc. of the 2022 Int. Conf. (Ranchi, India, 2022). 2022: 1-5. DOI: 10.1109/ICIBT52874.2022.9807766.
- [10] **Mukherjee S, Sharma N.** Intrusion detection using naive Bayes classifier with feature reduction. *Procedia Technology*. 2012; 4: 119–128. Source: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.017>. 455.
- [11] **Prajay P, Subrato B, Rubaiyat MM, Pinto P, Utku K.** Artificial Neural Network for Cybersecurity: A Comprehensive Review. *Journal of Information Assurance & Security*. 2021; 16(1): 10.
- [12] **Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE.** ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2012; 15–30. Source: <https://arxiv.org/abs/1207.0580>.
- [13] **Bengio Y, Ducharme R, Vincent P, Jauvin, C.** A Neural Probabilistic Language Model. *Journal of Machine Learning Research*. 1994; 1–18. Source: <https://www.jmlr.org/papers/volume3/bengio03a/bengio03a.pdf>.
- [14] **Pascanu R, Mikolov T, Bengio Y.** On the difficulty of training recurrent neural networks. In: *Machine Learning*, proc. of the 30th Int. Conf. 2013: 1–12. Source: <https://arxiv.org/abs/1211.5063>.
- [15] **Laghrissi F, Douzi S, Douzi K, Hssina B.** Intrusion detection systems using long short-term memory (LSTM). *J Big Data*. 2021; 8(65). Source: <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00448-4>.
- [16] **Shaul Z, Holzem C.** Machine learning based source code classification using syntax oriented features. Source: *ArXiv abs/1703.07638*. 2017.
- [17] **Mateless R, Tsur O, Moskovitch R.** Pkg2Vec: Hierarchical package embedding for code authorship attribution. *Future Gener. Comput. Syst.* 2021; 116: 49–60. Source: <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.020>.

- [18] **Sebastio S, Baranov E, Biondi F, Decourbe O, Given-Wilson T, Legay A, Puodzius C, Quilbeuf J.** Optimizing symbolic execution for malware behavior classification. *Comput. Secur.* 2020; 93: 101775. Source: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101775>.
- [19] **Naeem H, Ullah F, Naeem MR, Khalid S, Vasan D, Jabbar S, Saeed S.** Malware detection in industrial internet of things based on hybrid image visualization and deep learning model. *Ad Hoc Netw.* 2020; 105: 102154. Source: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102154>.
- [20] **Sun H, Cui L, Li L, Ding Z, Hao Z, Cui J, Liu P.** VDSimilar: Vulnerability detection based on code similarity of vulnerabilities and patches. *Comput. Secur.* 2021; 110: 102417. Source: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102417>.
- [21] **Moti Z, Hashemi S, Karimipour H, Dehghantanha A, Jahromi AN, Abdi L, Alavi F.** Generative adversarial network to detect unseen Internet of Things malware. *Ad Hoc Netw.* 2021; 122: 102591. Source: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102591>.
- [22] **Liu Z, Fang Y, Huang C, Xu Y.** MFXSS: An effective XSS vulnerability detection method in JavaScript based on multi-feature model. *Comput. Secur.* 2023; 124: 103015. Source: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103015>.
- [23] **Tian J, Xing W, Li Z.** BVDetector: A program slice-based binary code vulnerability intelligent detection system. *Inf. Softw. Technol.* 2020; 123: 106289. Source: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106289>.
- [24] **Kalouptoglou I, Siavvas M, Ampatzoglou A, Kehagias D, Chatzigeorgiou A.** Vulnerability classification on source code using text mining and deep learning techniques. In: *Software Quality, Reliability, and Security, proc. of the 24th IEEE Int. Conf. (QRS'24)*. 2024; 1–10.
- [25] **Russo ER, Di Sorbo A, Visaggio CA, Canfora G.** Summarizing vulnerabilities' descriptions to support experts during vulnerability assessment activities. *J. Syst. Softw.* 2019; 156: 84–99. Source: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.06.001>.
- [26] **Kühn P, Relke DN, Reuter C.** Common vulnerability scoring system prediction based on open source intelligence information sources. *Comput. Secur.* 2023; 131: 103286. Source: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103286>.
- [27] **Kotenko I, Doynikova E.** Vulnerabilities assessment techniques: application in computer systems security analysis [In Russian]. *Information Security. Inside.* 2011; 49: 74–81.
- [28] **Feng Z, Guo D, Kim J, Liu S.** CodeBERT: A Pre-Trained Model for Programming and Natural Languages. *Advances in Natural Language Processing*. 2020; 1–12. Source: <https://arxiv.org/abs/2002.08155>.
- [29] **Devlin J, Chang M-W, Lee K, Toutanova K.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Journal of Machine Learning Research.* 2019; 1–10. Source: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>.
- [30] **Loshchilov I, Hutter F.** Decoupled Weight Decay Regularization. In: *Learning Representations, proc. of the Int. Conf.* 2017; 1–18. Source: <https://arxiv.org/abs/1711.05101>.

About the authors

Nikita Alexeevich Busko (b. 2002) graduated from the Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" in 2024. nikutol@mail.ru.

Elena Vladimirovna Fedorchenko (b. 1986) graduated from the Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" in 2009, PhD (2017). She is a senior researcher at the Laboratory of Computer Security Problems of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. She is a co-author of more than 100 scientific articles including 2 monographs and 2 patents. ORCID: 0000-0001-6707-9153; Author ID (RSCI): 641554; Author ID (Scopus): 37097097100. doynikova@comsec.spb.ru.

Igor Vitalievich Kotenko (b. 1961) graduated with honors from the St. Petersburg Academy of Space Engineering in 1983 and the St. Petersburg Signal Academy in 1987, D. Sc. Eng. (1999), professor (2021), Honored Scientist of the Russian Federation (2023). Chief Researcher and Head of the Laboratory of Computer Security Problems at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, professor at ITMO University, Saint Petersburg State University of Telecommunications, Ural Federal University, Harbin Polytechnic University (China) and Heilongjiang University (China). He is a co-author of more than 800 publications in the field of computer network security, artificial intelligence, telecommunication systems, including 25 monographs, and more than 90 patents for inventions and registered programs. ORCID: 0000-0001-6859-7120; Author ID (RSCI): 110102; Author ID (Scopus): 15925268000. ivkote@comsec.spb.ru. ✉.

Received July 1, 2024. Revised July 11, 2024. Accepted July 16, 2024.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 004.5;004.8

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-421-439

**Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений**

© 2024, А.В. Смирнов, Т.В. Левашова✉

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН),
Санкт-Петербург, Россия***Аннотация**

В процессе сотрудничества человека и машины часто возникают повторяющиеся проблемы, что мотивировало обращение к паттернам сотрудничества, которые содержат готовые схемы решения для многократно возникающих однотипных проблем. Целью исследований является разработка моделей, способствующих организации человеко-машинного сотрудничества при поддержке принятия решений на основе паттернов сотрудничества. В работе использованы методы концептуального, онтологического и сценарного моделирования. По описаниям паттернов сотрудничества, обнаруженным в различных проблемных областях, построены концептуальные модели, представляющие пять видов паттернов: организационные паттерны, когнитивные паттерны, паттерны информационного взаимодействия, паттерны процесса и паттерны совместной инженерии. Разработаны онтологическая модель паттерна сотрудничества и онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества, объединяющая различные виды таких паттернов. Разработанные модели являются новым результатом, позволяющим унифицировать существующие подходы к описанию паттернов сотрудничества. Предложен вариант сценария, показывающий возможность использования разработанной онтологии для поддержки принятия решений. Разработанные модели для организации человеко-машинных коллективов и их деятельности могут способствовать повышению качества решений за счёт использования паттернов решений для однотипных проблем и обеспечению эффективного сотрудничества человека и машины.

Ключевые слова: *паттерн сотрудничества, человеко-машинное сотрудничество, онтологическая модель, концептуальная модель, поддержка принятия решений.*

Цитирование: *Смирнов А.В., Левашова Т.В. Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.421-439. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-421-439.*

Финансирование: *исследование выполнено в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0005.*

Конфликт интересов: *авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Введение

Благодаря росту числа функций, которые с большой эффективностью выполняются программными системами и робото-техническими устройствами, такие системы и устройства стали интенсивно вовлекаться в решение задач, ранее доступных только человеку [1]. При этом машины не способны заменить человека в части интуиции, эмпатии и других присущих ему индивидуальных особенностей. Поэтому сотрудничество человека и машины, когда они взаимно дополняют возможности друг друга, приобретает всё большую актуальность.

Подходы к разработке человеко-машинных (ЧМ) систем на основе использования онтологий как систем знаний, которые представлены в виде, понятном человеку и машине, в настоящее время широко распространены [2–5]. Отчасти это стало возможным благодаря со-

зданию семантической сети [6], содержащей технологии для представления, получения, передачи информации и знаний и управления ими.

В процессе сотрудничества часто возникают повторяющиеся проблемы, что мотивировало обращение к паттернам сотрудничества. Такие паттерны могут использоваться для типовых решений многократно возникающих проблем. Онтология, как средство, предоставляющее типовые решения для различных задач, используется, например, при: создании автоматически генерируемых адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний [7]; разработке онтологии, используя паттерны онтологического проектирования [8]; разработке программного обеспечения посредством генерации блоков из согласованной системы онтологических паттернов [9]; проверке правильности постановки типовых проектных задач и формулировок проектных решений при спецификации концептуализаций, используемых при проектировании автоматизированных систем [10].

Целью данной работы является разработка онтологии паттернов ЧМ сотрудничества (ЧМС). Под паттерном ЧМС понимается описание проблемы, которая решается в процессе сотрудничества, и типовой способ её решения. Онтология предназначена для использования при поддержке принятия решений (ППР) ЧМ средой.

В работе рассмотрены виды паттернов сотрудничества и выявлены их концептуальные модели (КМ). На основании данных моделей разработана онтологическая модель (ОМ) паттерна ЧМС и онтология паттернов ЧМС для ППР. Возможность использования данной онтологии рассмотрена на примере сценария ППР ЧМ средой.

1 Виды паттернов сотрудничества

Виды паттернов сотрудничества определены в результате анализа работ [11–23]. В разделе приведены сведения о целях, которые преследуют паттерны определённого вида, предлагаемых паттернами решениях и представлении их КМ. Анализируемые работы не содержат КМ паттернов, эти модели построены в результате изучения исходных моделей паттернов, их текстового описания и вариантов использования. Первоначально извлечённые КМ получились разнородными вследствие того, что каждый вид КМ отражал взгляд на сотрудничество, поддерживаемый областью применения разрабатываемых паттернов. Разнородность формулировок в определениях элементов паттернов рассмотрена в публикации [24]. В текущей работе данная разнородность устранена. Следует отметить, что для того, чтобы не усложнять КМ, в них не представлены временные характеристики, учитывающие сроки решения задач, возможные прерывания и т.п.

Все паттерны можно разделить на паттерны, которые направлены на решение проблемы, и паттерны, которые предназначены для организации сотрудничества с целью решения проблемы. В первом случае участники используют паттерн при совместном решении проблемы. Сюда относятся паттерны процесса и паттерны совместной инженерии. Во втором случае участники сотрудничества не обязательно должны быть вовлечены в решение проблемы. К этим паттернам относятся: организационные паттерны, когнитивные паттерны и паттерны взаимодействия.

1.1 Определения концептов

В данном разделе приводятся определения концептов, которые являются общими для ряда рассматриваемых ниже КМ паттернов сотрудничества. При описании КМ определения для таких концептов не даются, а приводятся только определения для концептов, которые являются специфическими для КМ паттернов определённого вида.

Вид деятельности (ВД) – работа, которую участник сотрудничества должен выполнить в рамках выполняемой им роли.

Задача/Цель – решение, которое требуется найти в конкретной ситуации, возникшей в процессе сотрудничества.

Инструмент – средство, поддерживающее определённый ВД.

Решение – результат деятельности, являющийся решением задачи.

Роль – положение, устанавливающее ограниченное множество ВД, которые участник, занимающий данное положение, может и должен уметь осуществлять.

Средство коммуникации – инструмент, поддерживающий взаимодействие участников в процессе сотрудничества.

Участник – человек или программный агент, вовлечённый в процесс сотрудничества.

1.2 Организационные паттерны

Организационные паттерны описывают решение проблемы в терминах характеристик сотрудничества [11], компонентов и принципов среды сотрудничества [12]. Данные паттерны определяют процесс сотрудничества как выполнение деятельности в соответствии с принципами и структурой среды сотрудничества. Паттерны предоставляют решение для задачи формирования среды сотрудничества. Предлагаемое паттернами решение – архитектура среды сотрудничества. КМ организационного паттерна представлена на рисунке 1. Для концептов, которые не определены в разделе 1.1, в модели использованы следующие определения.

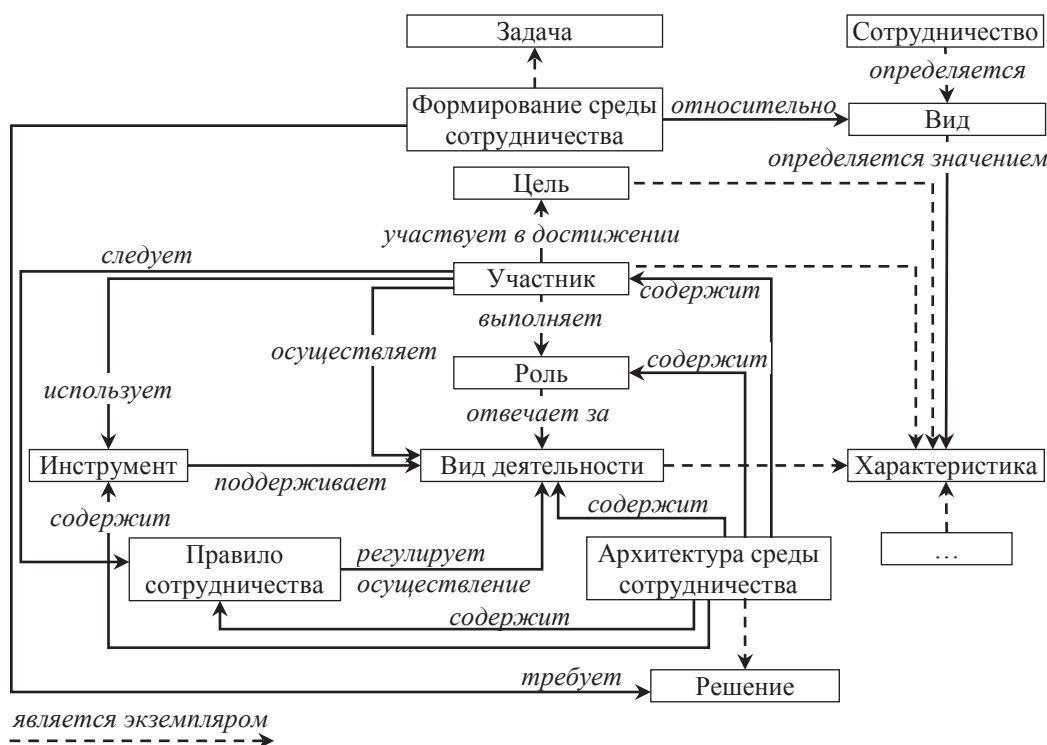


Рисунок 1 – Концептуальная модель организационного паттерна

Архитектура среды сотрудничества – (неупорядоченное) множество ВД, множество компонентов среды сотрудничества, множество взаимоотношений между компонентами и множество правил, которые регулируют деятельность участников с определенными ролями.

Вид – вид сотрудничества.

Правило сотрудничества – правило, которое определяет поведение участников при их взаимодействии друг с другом в процессе их деятельности.

Сотрудничество – выполнение участниками ВД в соответствии с принципами и структурой среды сотрудничества.

Формирование среды сотрудничества – вид задачи, направленный на определение компонентов среды, взаимоотношений между компонентами и принципов (правил), которые регулируют деятельность участников с определёнными ролями при конкретном виде сотрудничества.

Характеристика – признак, критерий вида сотрудничества.

Среда сотрудничества, создаваемая в соответствии с организационным паттерном, формируется под конкретный вид сотрудничества, который определяется значением характеристик сотрудничества. К таким характеристикам относятся цель сотрудничества, ВД, стороны-участники и другие (например, период сотрудничества – долгосрочное, краткосрочное); ожидаемое использование результатов сотрудничества (внутреннее, передача одной из сторон стороне, передача третьим лицам и т.п.); частота взаимодействий сторон и прочие характеристики). В рассматриваемом паттерне задача и цель разделены. Это отражает тот факт, что участники не вовлечены в решение задачи формирования среды сотрудничества, но они участвуют в достижении цели сотрудничества. Определение цели не противоречит определению, приведённому в разделе 1.1, но понимается более широко. Здесь цель – это итог, который должен быть получен от процесса сотрудничества. Архитектура среды сотрудничества включает участников, выполняемые ими роли, закреплённые за ролями ВД, инструменты, поддерживающие указанные ВД и другие элементы архитектур информационных сред (интерфейс, инфраструктура и т.п.), также она описывает отношения между элементами и определяет правила сотрудничества. Множество элементов архитектуры на рисунке 1 не приведено, чтобы не загромождать иллюстрацию, т.к. такая детализация не требуется для понимания общей концепции паттерна. Участники сотрудничества не осуществляют деятельность, связанную с разработкой архитектуры.

1.3 Когнитивные паттерны

Когнитивные паттерны описывают процессы мышления и аргументации человека-эксперта [16–18]. В этих паттернах сотрудничество определено как процесс выдвижения идей, предложений, гипотез и их согласование. Паттерны предлагают решение для задачи конфигурирования процесса решения интеллектуальной задачи (ИЗ). На рисунке 2 представлено предлагаемое паттернами решение – сценарий выполнения ИЗ – КМ когнитивного паттерна. Концепты, характерные для данной модели, определены следующим образом.

Вид ИД – конкретное интеллектуальное действие, осуществляемое участником (например, выдвижение идей, оценка гипотез и т.п.)

Демонстрационное средство – инструмент, поддерживающий наглядное представление информации, используемой и получаемой в процессе ИД (например, проектор, магнитно-маркерная доска, интерактивная доска, бумага для письма/рисования и другие).

Интеллектуальная деятельность (ИД) – когнитивная деятельность, требующая навыков критического мышления, логического рассуждения и решения проблем.

ИЗ – задача, которая решается экспертами, использующими критическое и аналитическое мышление.

Помощник – роль, в рамках которой множество действий связано с предоставлением сервисов эксперту.

Предусловие – условие, указывающее на целесообразность выполнения определенного вида ИД.

Способ решения – вариант конфигурации рабочего процесса решения ИЗ.

Сценарий сотрудничества – конкретный способ решения (конкретная конфигурация рабочего процесса), представляющий последовательность видов ИД, результатом выполнения которой является решение ИЗ участниками, осуществляющими различные ВД в соответствии с выполняемыми ими ролями и, при необходимости, использующими инструменты, поддерживающие эти ВД.

Эксперт – роль, в рамках которой множество действий ограничено видами ИД.

Когнитивный паттерн рассматривает решение ИЗ участниками ЧМС, которые могут выполнять роли эксперта и помощника. Роль экспертов закреплена за людьми. Они осуществляют ИД. Агентам отведена роль помощников. Они, при необходимости, поддерживают экспертов, предоставляя им требуемые сервисы (обработка информации, решение вычислительных задач и т.п.). При выполнении ИД эксперты могут использовать различные инструменты, в частности средства коммуникации и демонстрационные средства. ИД представлена различными видами, упорядоченное осуществление которых приводит к решению ИЗ. Множество предусловий определяет, какой вид ИД целесообразно выбрать на конкретном этапе решения задачи. Виды ИД; порядок выполнения видов ИД; участники, осуществляющие различные ВД в соответствии с выполняемыми ими ролями; инструменты, поддерживающие ИД экспертов, - формируют сценарий сотрудничества. Этот сценарий представляет собой способ решения ИЗ.

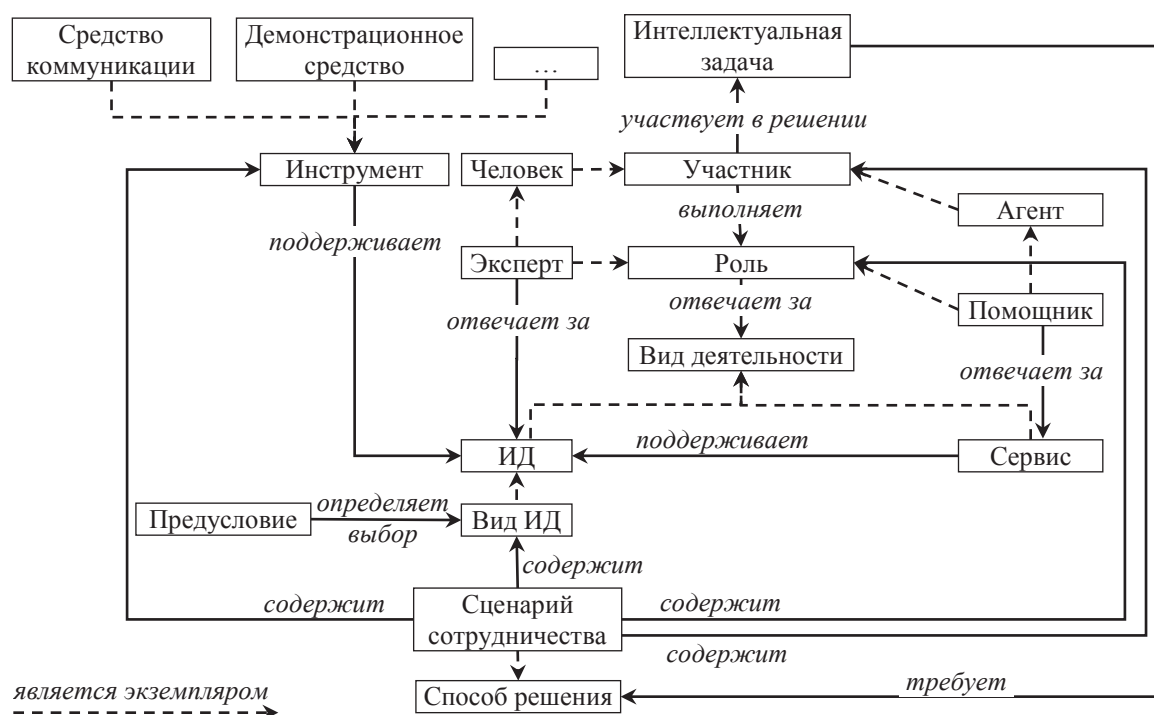


Рисунок 2 – Концептуальная модель когнитивного паттерна

1.4 Паттерны взаимодействия

Паттерны взаимодействия [19–21] рассматривают сотрудничество, поддерживаемое информационными системами (приложениями, социальными сетями, системами онлайн-коммуникаций и т.д.). Они описывают решение проблемы в терминах компонентов процессов коммуникации и управления данными. Сотрудничеством считается обмен участниками информацией, совместное редактирование информации и выполнение процедур и задач, инициированных информационными сообщениями. Паттерны предлагают решение для задачи конфигурирования элементарных коммуникативных актов (запрос-ответ), поддерживающих сценарий взаимодействия участников. Предлагаемое паттернами решение – сценарий взаимодействия участников для реализации цели, возникшей в процессе их совместной деятельности.

КМ паттерна взаимодействия представлена на рисунке 3. Концепты в модели определены следующим образом.

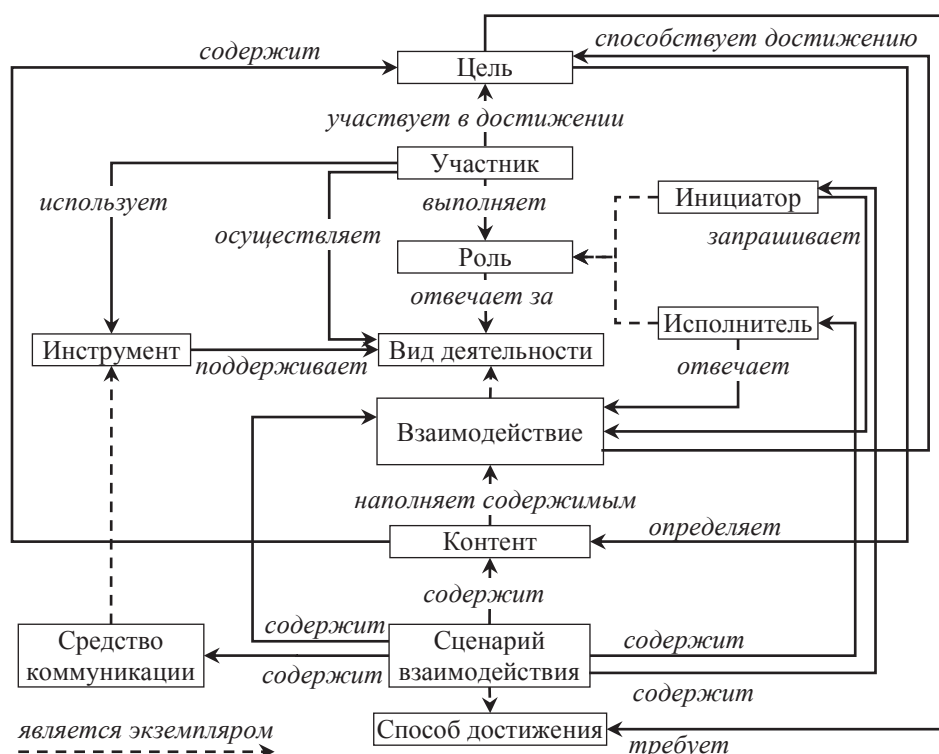


Рисунок 3 – Концептуальная модель паттерна взаимодействия

Взаимодействие – ВД, предусматривающий коммуникацию участников или действие участника в ответ на коммуникационное сообщение.

Инициатор – роль, в рамках которой действия ограничены отправлением сообщений, инициирующих взаимодействие.

Исполнитель – роль получателя сообщения, в рамках которой действия связаны с отправкой ответных сообщений или выполнением ВД, инициированных сообщением.

Контент – информация, наполняющая коммуникативные акты содержанием.

Способ достижения – вариант конфигурации коммуникативных актов.

Сценарий взаимодействия – конкретный способ

способ, способствующий достижению цели и предлагающий последовательность коммуникативных актов между участниками в соответствии с выполняемыми ими ролями и с использованием при необходимости средств коммуникации.

В паттерне взаимодействия участники сотрудничества (люди и агенты) взаимодействуют для реализации цели, которая появилась в процессе их совместной деятельности. Участники, выполняющие роль инициатора, отправляют сообщения участникам, выполняющим роль исполнителя. Исполнители отвечают инициаторам или выполняют действия, инициированные сообщениями. Исполнитель может переслать сообщение другому участнику, инициируя его действия. В этом случае его роль меняется с исполнителя на инициатора. Контент сообщений определяется целью и содержит описание этой цели. Сценарий взаимодействия, предлагаемый паттерном в качестве решения, представляет конфигурацию коммуникативных актов, которыми обмениваются участники для реализации цели; контент этих актов; роли участников и используемые средства коммуникации.

1.5 Паттерны процесса

Паттерны процесса [13, 14, 22, 23] описывают решение проблемы в терминах ВД и рабочих задач, которые участники сотрудничества должны предпринять или выполнить, чтобы прийти к этому решению, а также инструментов, которые они могут использовать. Эти паттерны ориентированы на сотрудничество, под которым понимается выполнение участниками действий, ведущих к решению задачи или достижению цели. Паттерны предлагают решение для проблемы планирования процесса сотрудничества. Предлагаемое паттернами решение – спецификация рабочего процесса решения задачи или достижения цели.

КМ паттерна процесса представлена на рисунке 4. Эта модель содержит только один ранее не определённый концепт:

Рабочий процесс – последовательность ВД, которую требуется выполнить, чтобы получить решение задачи, а также совокупность участников, выполняемых ими ролей и инструментов, поддерживающих эти ВД.

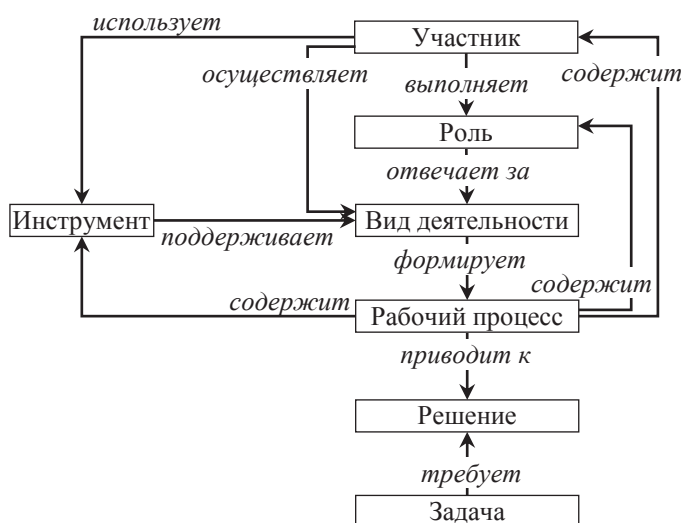


Рисунок 4 – Концептуальная модель паттерна процесса

Согласно модели процесса участники сотрудничества осуществляют деятельность, выполнение которой приводит к решению некоторой задачи. ВД, которые составляют общую деятельность по решению задачи, формируют рабочий процесс. Он специфицирует последовательность выполнения ВД, роли, участников и инструменты. Участники действуют в соответствии с ролями, которые они выполняют, и, при необходимости, используют инструменты, поддерживающие определенные ВД.

1.6 Паттерны совместной инженерии

Паттерны совместной инженерии описывают решение проблемы в терминах правил принятия решений участниками сотрудничества [17, 24]. Данные паттерны определяют процесс сотрудничества как процесс принятия решений. Паттерны предлагают решение для задачи установки правил коллективного принятия решений. Предлагаемое паттернами решение – процедура выбора и согласования участниками сотрудничества правил принятия коллективных решений. КМ паттерна совместной инженерии представлена на рисунке 5. В ней определены нижеприведённые концепты.

Выбор правила принятия решений – ВД, заключающийся в применении участниками типовой процедуры выбора правила коллективного принятия решений из набора правил.

Набор правил принятия решений – множество правил принятия коллективных решений.

Правило – принцип или условие, которому следуют участники и которое регулирует их поведение при выполнении определенных ВД.

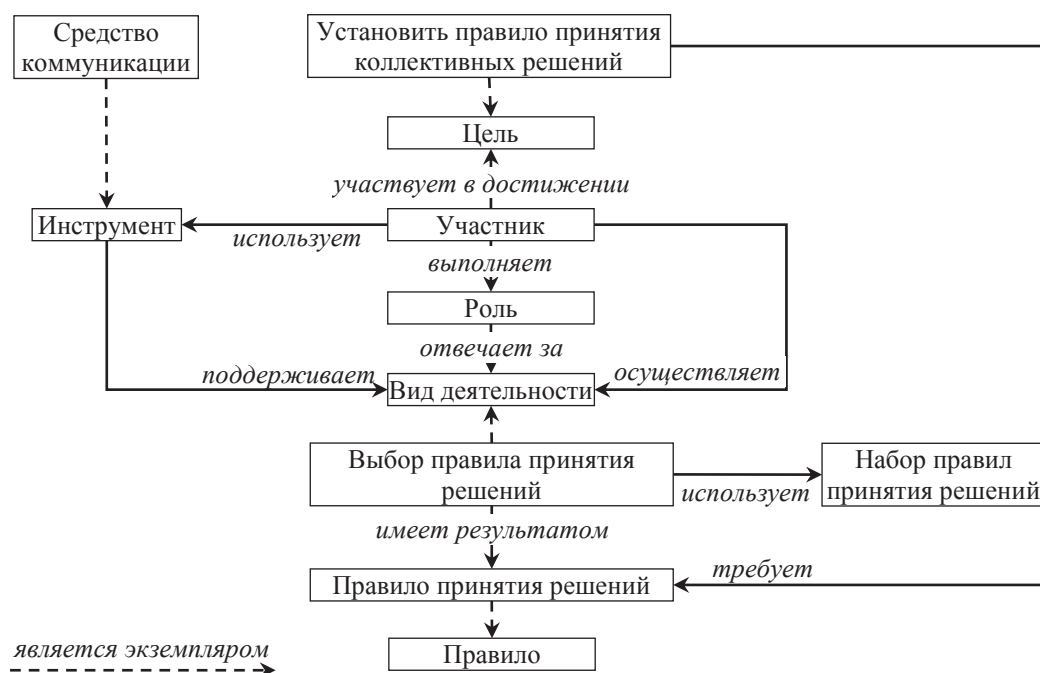


Рисунок 5 – Концептуальная модель паттерна совместной инженерии

Правило принятия решений – правило коллективного принятия решений.

Установить правило принятия коллективных решений – конкретная цель, возникшая в процессе сотрудничества.

В КМ паттерна совместной инженерии участники сотрудничества в соответствии с выполняемыми ими ролями осуществляют деятельность, заключающуюся в применении типовой процедуры выбора правила коллективного принятия решений. Правило выбирается из набора правил принятия решений применительно к конкретному вопросу, по которому требуется решение. При необходимости участники используют средство коммуникации, поддерживающее взаимодействие участников в процессе их деятельности. Результатом деятельности участников является правило принятия решений, которое определяет, как будет приниматься решение по рассматриваемому вопросу. Данное правило фиксирует достижение цели.

2 ОМ паттернов сотрудничества

На основании анализа различных видов паттернов сотрудничества, описанных в предыдущем разделе, разработана ОМ паттерна ЧМС. Её концептуальная структура представлена на рисунке 6. ЧМС в данной модели поддерживается за счёт той её части, где определена

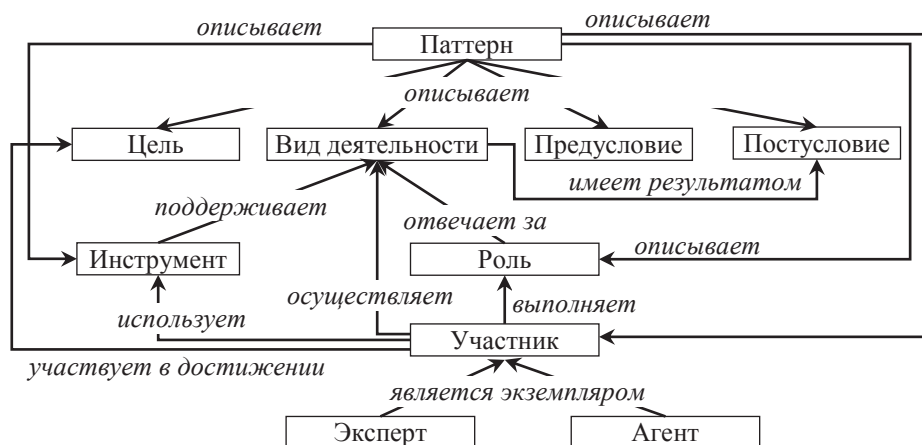


Рисунок 6 – Концептуальная модель паттерна человеко-машинного сотрудничества

привязка участников сотрудничества к ролям и их специализация. Если эту часть модели убрать, то данная модель может использоваться для моделирования различных видов рабочих процессов при любой форме организации труда.

В рассматриваемой ОМ определены концепты, приведённые в разделе 1.1, дополнены следующими определе-

ниями.

Агент – роль, в рамках которой множество ВД выполняют интеллектуальные агенты.

Паттерн – описание проблемы, многократно возникающей в процессе ЧМС, и типовой способ её решения.

Постусловие – результат, достигнутый при выполнении определённого ВД.

Предусловие – условие, при котором паттерн может или должен быть использован.

Эксперт – роль, в рамках которой множество ВД выполняет человек.

ОМ, реализующая КМ (рисунок 6) приведена на рисунке 7.

Модель реализована в редакторе онтологий *Protégé* [25]. Эта модель представляет концепты верхнего уровня. На рисунке 8 показана специализация модели, ограниченная примерами концептов, которые используются в описанных в предыдущем разделе КМ, и деятельностью, связанной с ППР. Сами КМ в своем неизменном виде в ОМ (рисунок 8) не входят. В действительности, ОМ паттернов ЧМС может представлять значительно больше концептов. В частности, в приведённой модели не представлено разнообразие ВД (соответственно, постусловий), инструментов и ролей. Определения для концептов, которые не даны в модели верхнего уровня, следующие.

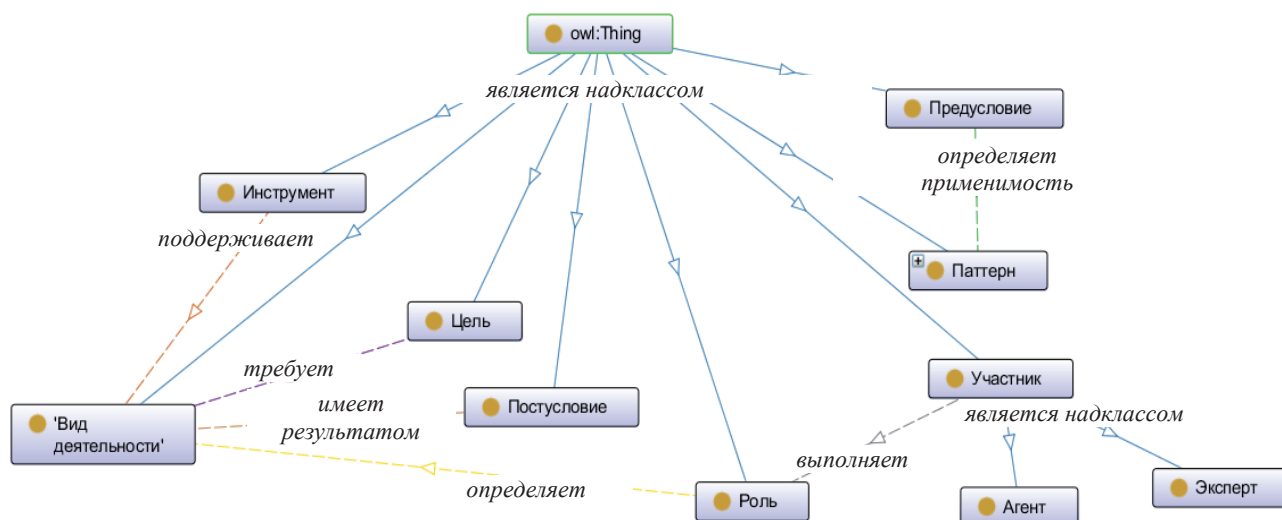


Рисунок 7 – Верхний уровень онтологической модели паттерна человеко-машинного сотрудничества

Взаимодействия – вид паттерна, предоставляющий инструменты и компоненты коммуникативных актов для разработки сценария взаимодействия участников в процессе сотрудничества. Постусловием применения паттерна является сценарий взаимодействия участников для реализации цели, возникшей в процессе сотрудничества.

Когнитивный – вид паттерна, предоставляющий набор видов ИД для организации процесса решения участниками ИЗ. Одним из предусловий применения паттерна является указание в рабочем процессе, что определённый ВД носит интеллектуальный характер. Постусловием применения паттерна является план процесса решения ИЗ.

Совместная инженерия – вид паттерна, предлагающий типовую процедуру для проблемы установки участниками правила коллективного принятия решений. Постусловием применения паттерна является правило коллективного принятия решений.

Организационный – вид паттерна, предоставляющий набор компонентов среды ЧМС для формирования архитектуры такой среды. Предусловием применения паттерна является статус задачи – намечена. Постусловиями применения паттерна являются архитектура среды ЧМС, статус задачи – запланирована.

Процесс – вид паттерна, предлагающий участникам ЧМС модель рабочего процесса для решения проблемы планирования процесса сотрудничества. Предусловиями применения паттерна является статус задачи – запланирована. Постусловиями применения паттерна являются спецификация плана рабочего процесса, статус задачи – назначена.

Принятие решений – ВД, описывающий процесс выбора альтернатив на предмет поиска решения задачи или способа достижения цели.

Взаимодействие – ВД, предусматривающий коммуникацию участников или действие участника в ответ на коммуникационное сообщение.

Генерация – ВД, в результате которого осуществляется переход от меньшего количества высказываний к большему, которое характеризует высказывания, поддерживаемые всеми участниками.

Достижение консенсуса – ВД, направленный на отслеживание прирастающего большинства участников, разделяющих определенную точку зрения.

Идентификация – ВД, нацеленный на распознавание объекта.

Интеллектуальный анализ – ВД, нацеленный на объяснение наблюдаемой ситуации и связанный с осмыслением информации (часто неполной и противоречивой) посредством взвешивания конкурирующих гипотез.

Категоризация – ВД, нацеленный на систематизацию сгенерированных участниками высказываний.

Оценка – ВД, в результате которого достигается понимание относительной ценности рассматриваемых участниками высказываний.

Сокращение – ВД, в результате которого осуществляется переход от большего количества высказываний к меньшему, характеризующее высказывания, которые участники считают заслуживающим внимания.

Уточнение – ВД, в результате которого достигается понимание высказываний, используемых и выдвинутых в процессе сотрудничества, всеми участниками.

Высказывание – фраза, выражающая определённый смысл.

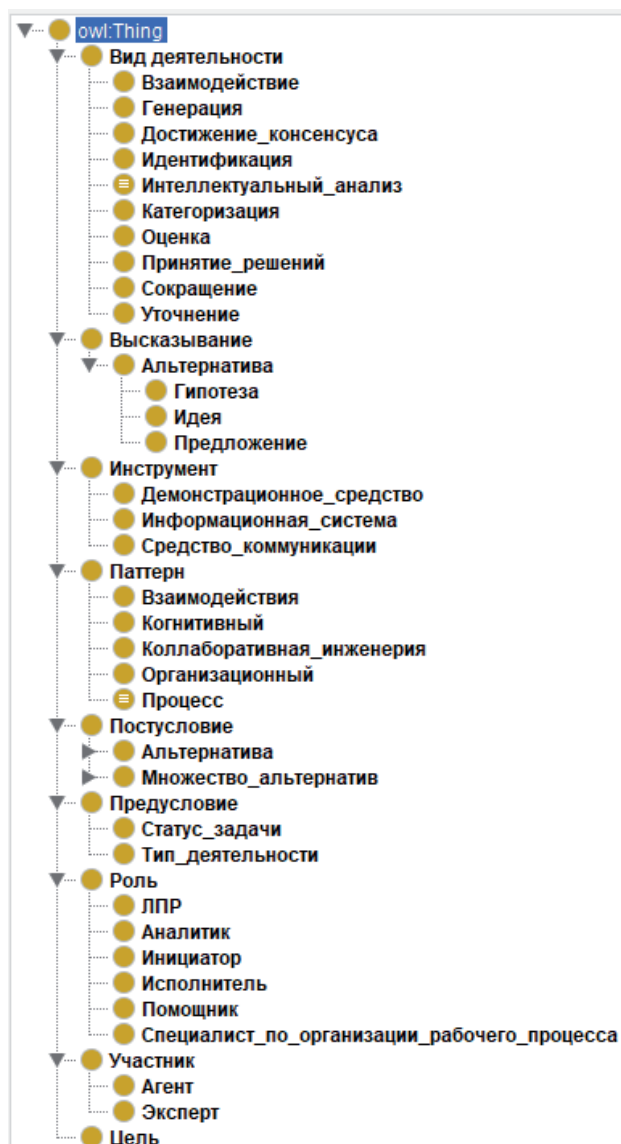


Рисунок 8 – Онтологическая модель паттернов человеко-машинного сотрудничества

Идея – вид высказывания, описывающий воображаемый подход к решению задачи (достижению цели) и выделяющий его основные и существенные черты.

Гипотеза – вид высказывания, выдвигаемого для объяснения каких-либо явлений.

Предложение – вид высказывания, в котором что-либо выдвигается на рассмотрение, обсуждение.

Альтернатива – вид высказывания, содержащий результат, полученный после выполнения деятельности по выбору одной альтернативы из множества альтернатив, посредством их оценки.

Информационная система – прикладная система, поддерживающая деятельность в организации или проблемно-ориентированном сообществе, предоставляя возможности обмена информацией между участниками.

Множество альтернатив – результат, полученный после выполнения деятельности по генерации (высказываний).

Статус задачи – степень выполнения конкретной задачи, решаемой участниками ЧМС. Может иметь значения: новая, намечена, запланирована, назначена, в работе, завершена.

ЛПР – участник, принимающий решения.

Аналитик – роль, в рамках которой деятельность связана с аналитическими исследованиями, систематизацией и обобщением информации и данных с целью решения задач, создания прогнозов, выработки рекомендаций.

Инициатор – роль, в рамках которой действия ограничены отправлением сообщений, инициирующих взаимодействие.

Исполнитель – роль получателя сообщения, в рамках которой действия связаны с отправкой ответных сообщений или выполнением ВД, инициированных сообщением.

Помощник – роль, в рамках которой деятельность связана с предоставлением сервисов для эксперта.

Специалист по организации рабочего процесса – роль, в рамках которой деятельность связана с проектированием процесса совместной работы участников при решении ими ИЗ.

Далее приведены некоторые используемые в ОМ паттернов ЧМС аксиомы, которые поясняют связь этой модели с задачами ЛПР.

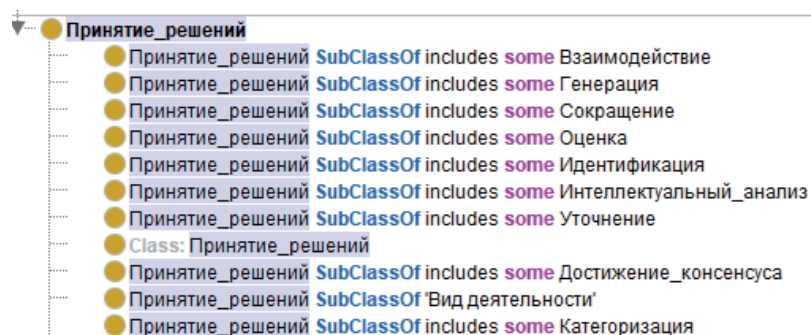


Рисунок 9 – Аксиомы принадлежности видов деятельности процессу принятия решения

ясняют связь этой модели с задачами ЛПР.

ВД, из которых может быть сформирован процесс принятия решений, представлены на рисунке 9. Принадлежность этих ВД классу «Принятие решений» задается при помощи отношения “includes”.

Множество аксиом, представленных на рисунке 10, постулируют предусловия использования паттернов на примере

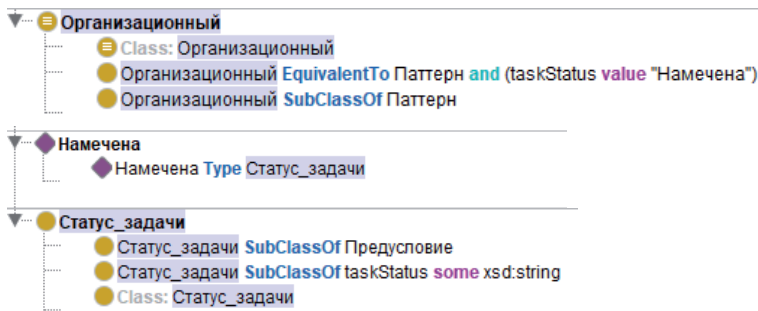


Рисунок 10 – Аксиомы организационного паттерна

примера использован класс «Интеллектуальный анализ». Для этого ВД определено (левая часть рисунка), что он носит интеллектуальный характер (значение свойства «intellectual» истинно) и, что результатом этой деятельности является множество альтернатив (на рисунке Рисунок этот результат определен в классе «Постусловия»). На правой части рисунка показано, что в классах Аналитик и Помощник (подклассы класса Роль) определено, что Аналитик осуществляет «Интеллектуальный анализ», а Помощник поддерживает Аналитика в этом процессе.

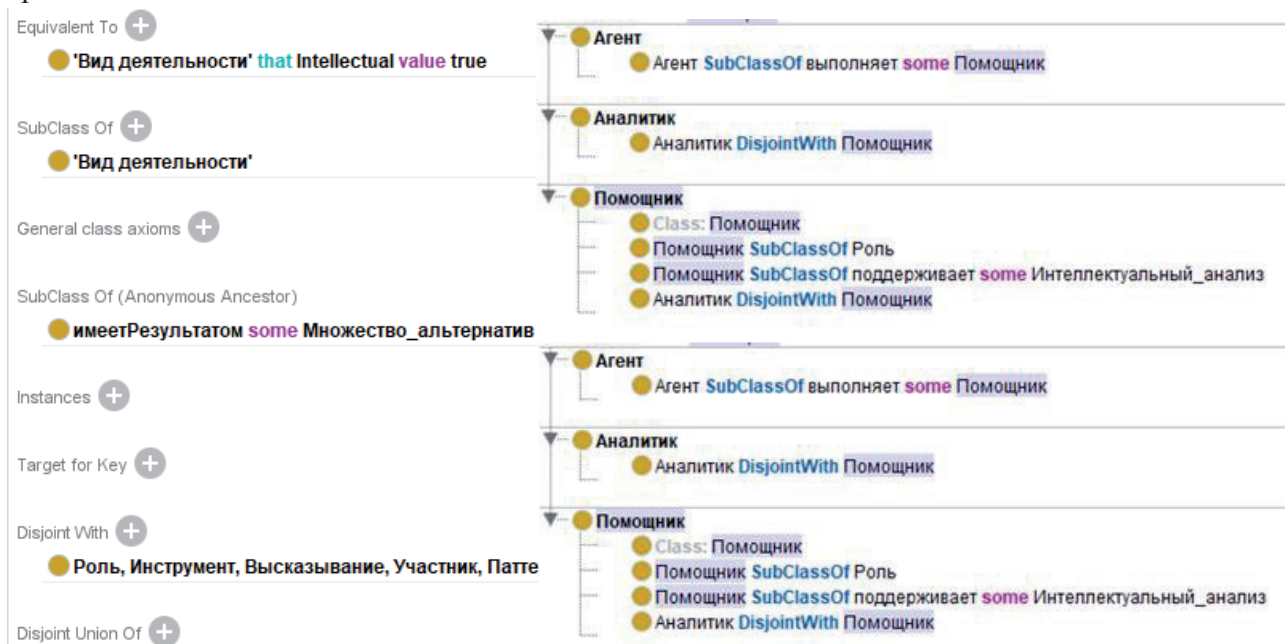


Рисунок 11 – Аксиомы, связанные с классом «Интеллектуальный анализ»

3 Сценарий ППР ЧМ средой

Сценарий ППР ЧМ средой основан на КМ использования паттернов ЧМС при ППР [24].

3.1 КМ использования паттернов ЧМС при ППР

КМ использования паттернов ЧМС при ППР (рисунок 12) включает в подмножество концептов, которые определены в паттернах сотрудничества, и концепты «Проблема», «Статус», «Ресурс» и «Контекст». Концепт «Цель» в данной модели соответствует цели паттерна, а концепт «Задача» определён в соответствии с задачей ППР. Ниже приводятся определения для упомянутых концептов.

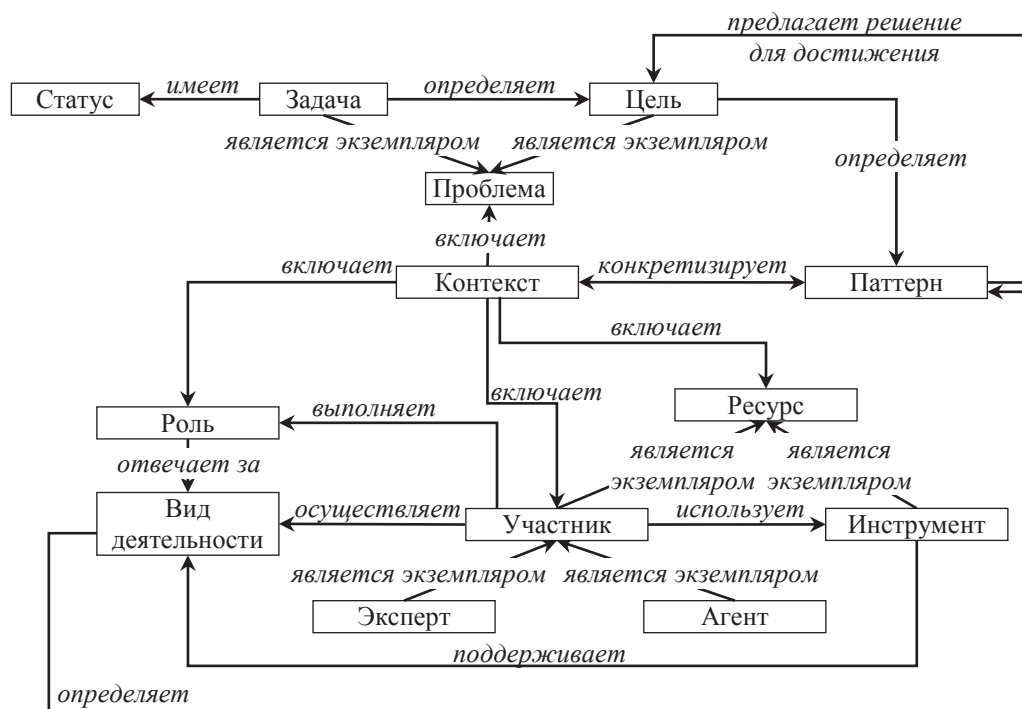


Рисунок 12 – Концептуальная модель использования паттернов человеко-машинного сотрудничества при поддержке принятия решений

Задача – вид проблемы: решение, которое должно найти ЛПР для рассматриваемой им конкретной задачи и для поиска которого формируется коллектив участников.

Контекст – информация о ситуации, в которой может быть использован паттерн сотрудничества. Контекст описывает текущую информацию о задаче, ресурсах (включая выполняемые участниками роли и осуществляемые ими ВД) и текущей цели сотрудничества. На основе данной информации выбираются паттерны ЧМС.

Проблема – решение для задачи (цели), появившейся в процессе сотрудничества.

Ресурс – доступный источник чего-либо, который можно использовать в случае необходимости для помощи или поддержки. Ресурсами являются участники ЧМС и инструменты.

Статус – степень выполнения задачи, совместно решаемой участниками ЧМС.

Цель – вид проблемы: решение для проблемы, появившейся в процессе решения задачи.

КМ поддерживает следующую семантику. ЛПР в некотором контексте формулирует задачу, которую требуется решить участникам ЧМ среды. Вся информация о текущей информации, включая информацию об имеющихся ресурсах и поступившей задаче, представлена в контексте. Совместно или по-отдельности статус задачи и выполняемые ВД определяют текущую цель сотрудничества, в соответствии с которой выбирается тот или иной паттерн. Паттерны предлагают решение, как текущая цель может быть достигнута. В процессе реализации решения, которое предложено паттернами, контекстная информация обновляется. Предназначение рассматриваемой КМ для ППР определяется спецификацией ВД, составляющих деятельность по ППР (детализация данных видов приведена на рисунках 8 и 9).

3.2 Сценарий ППР на основе паттернов ЧМС

При ЧМ сотрудничестве ВД, предусмотренные процессом принятия решений, не предполагают обязательного назначения экспертам или агентам. Распределение этих видов определяется наличием в контексте участников, способных их выполнить. В связи с этим типовой сценарий, в котором жёстко задано распределение работ между различными участниками,

невозможен. Поэтому в данном разделе рассмотрен пример возможного сценария. В этом примере один из ВД запланирован как ИЗ.

Сценарий начинается с обращения ЛПР к ЧМ среде (рисунок 13). При поступлении задача имеет статус «Новая». Этот статус означает, что текущей целью является определение ВД, требующихся для решения задачи. В данной работе к таким ВД относятся типовые этапы модели принятия решений [26, 27]: идентификация цели, генерация альтернатив, оценка альтернатив, выбор альтернативы (принятие решения). Этап идентификации цели в сценарии соответствует этапу формализации задачи, сформулированной ЛПР. Данный этап в сценарии не рассматривается, поскольку паттернов для этого процесса не выявлено.

После того, как ВД определены, статус задачи приобретает статус «Намечена», что означает, что текущей целью становится формирование среды сотрудничества. Для достижения этой цели может быть использован организационный паттерн:

```
Организационный EquivalentTo (предусловие some Предусловие)
and (taskStatus value "Намечена")
```

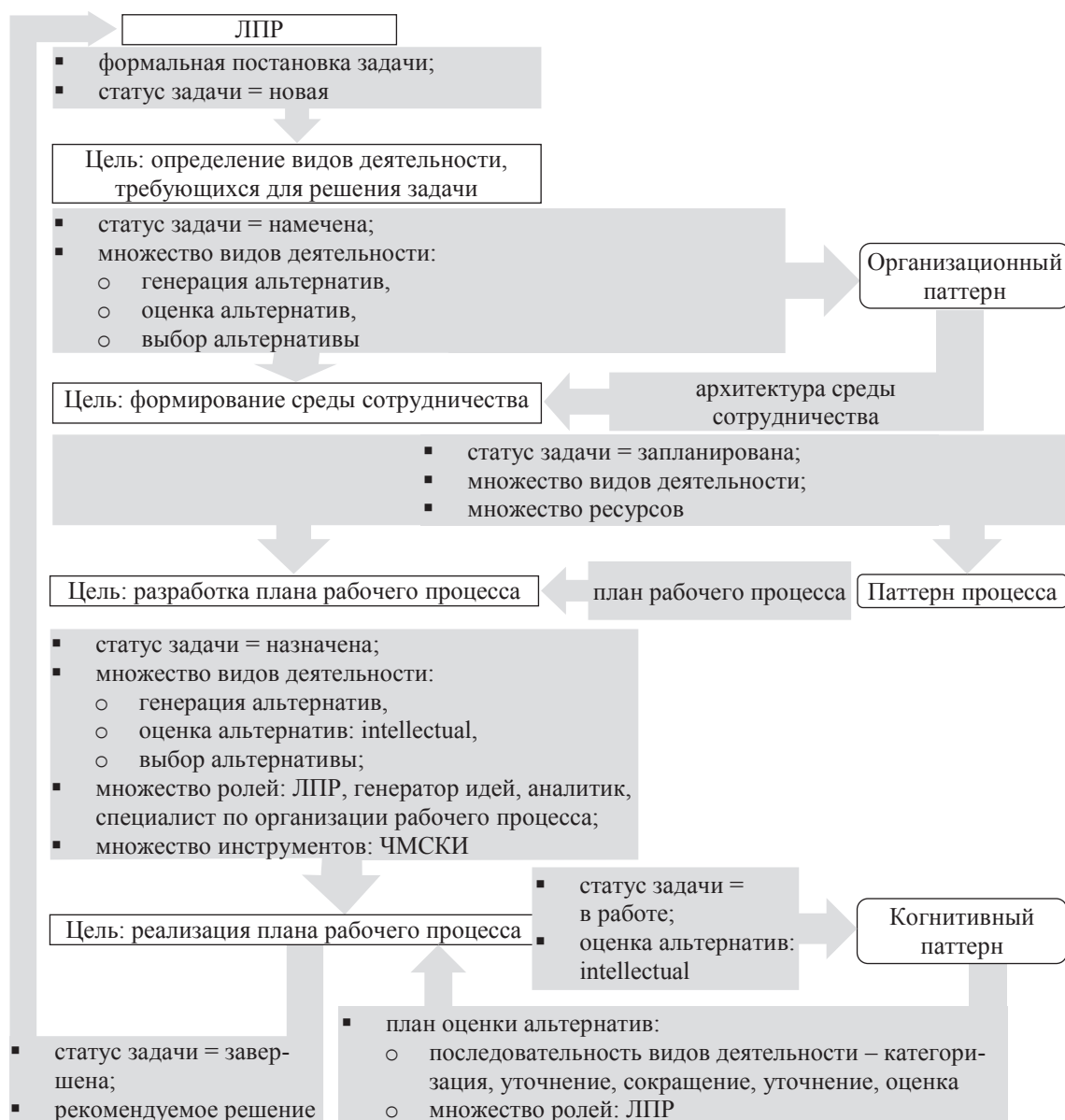


Рисунок 13 – Пример сценария поддержки принятия решений

Результатом (постусловием) формирования среды сотрудничества является архитектура такой среды, включающая множество ресурсов, ролей участников и набор функций, которые представлены видами деятельности. Статус задачи обновляется значением «Запланирована». Упомянутый статус указывает на наличие цели, связанной с разработкой плана рабочего процесса, для чего может быть использован паттерн процесса. Помимо того, что предусловием применения паттерна является статус задачи «Запланирована», в онтологии указано, что

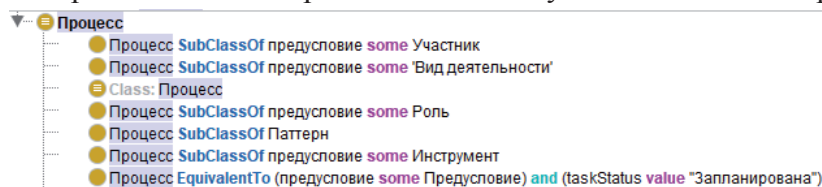


Рисунок 14 – Предусловия применения паттерна «Процесс»

существует ещё ряд предусловий, которые являются спецификацией исходных данных для применения данного паттерна (рисунок 14).

Эти предусловия выполняются за счёт применения организационного паттерна. Посту-

словием использования паттерна процесса является план рабочего процесса, который участники совместно разрабатывают, пользуясь знаниями об архитектуре среды сотрудничества. План рабочего процесса представляет собой последовательность ВД, результатом выполнения которой является решение задачи ЛПР, и включает множество участников, множество выполняемых участниками ролей и множество инструментов, поддерживающих запланированные ВД, а также содержит распределение ролей и инструментов по ВД. На рисунке 13 инструмент ЧМСКИ означает ЧМ среда коллективного интеллекта [28]. Данная среда оказывает технологическую поддержку, обеспечивая возможность взаимодействия участников, их интероперабельность и предоставляя механизмы самоорганизации. После того, как план рабочего процесса создан, статус задачи обновляется значением «назначена». Когда участники приступают к реализации плана, статус задачи приобретает значение «в работе».

В рассматриваемом примере сценария предполагается, что оценка альтернатив является ИЗ (на рисунке 13 «оценка альтернатив: intellectual»). Способ решения ИЗ предлагает когнитивный паттерн. Специалист по организации рабочего процесса предложил следующую последовательность действий: категоризация, уточнение, сокращение, уточнение, оценка (определения для этих видов действий даны при описании ОМ (рисунок 8)). Данные действия осуществляют эксперты, выполняющие роль ЛПР (эта роль отличается от роли ЛПР, который ставит задачу ЧМ среде, и которая в ОМ не представлена). В результате осуществления указанных действий формируется небольшое множество альтернатив, оценённых относительно одного или нескольких критериев, с которым согласны все эксперты.

Дальнейшее использование паттернов зависит от того, какие цели возникают в процессе выполнения участниками запланированных ВД. В ходе этого процесса участники взаимодействуют и принимают локальные решения (отличные от решения для задачи ЛПР). Решения для достижения этих целей предлагают паттерны взаимодействия и совместной инженерии.

Сценарий завершается предоставлением ЛПР рекомендуемого решения для его задачи (ВД «выбор альтернативы» в рабочем процессе). Статус задачи приобретает значение «Завершена».

Предложенный сценарий не является типовым. В частности, даже для решения ИЗ оценки альтернатив возможны разные планы процесса её решения. Если в этот план ввести вид действия «Интеллектуальный анализ», то в плане появится роль «Помощник», которую выполняет агент. Этот агент будет помогать отсеивать экспертам «непродуктивные» альтернативы. Методы решения задач [29] могут быть использованы как основа для планирования процессов решения ИЗ. Эти методы показывают, что для решения ИЗ, как частного случая задачи, можно построить множество сценариев.

Заключение

В работе предложен набор моделей, способствующих организации ЧМ сотрудничества при ППР на основе паттернов сотрудничества. Рассмотрены КМ паттернов сотрудничества различных видов. На основе этих моделей разработана ОМ паттерна, являющаяся формальным унифицированным средством описания паттернов сотрудничества. Отличительной особенностью модели является то, что она может применяться для моделирования различных видов рабочих процессов при любой форме организации труда. Разработана онтология паттернов, объединяющая различные виды паттернов сотрудничества. Данная онтология поддерживает вывод, позволяющий рекомендовать паттерны в зависимости от контекста. Потенциал онтологии и, соответственно, различных видов паттернов сотрудничества для ППР рассматривается на примере возможного сценария ППР ЧМ средой.

Разработаны модели для организации ЧМ коллективов и их деятельности, которые могут способствовать повышению качества решений за счёт использования паттернов решений для однотипных проблем и обеспечению эффективного сотрудничества человека и машины.

Список источников

- [1] **Боргест Н.М.** Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться // Онтология проектирования. 2019. Т.9. №4. С.407–428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [2] **Семенова В.А., Смирнов С.В.** Функциональное наполнение и архитектура программной лаборатории для онтологического анализа данных // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2023. Т.31. №2. С.85–100. DOI: 10.14498/tech.2023.2.7.
- [3] **Кудряцев Д.В., Гаврилова Т.А., Смирнова М.М., Головачева К.С.** Построение онтологии знаний потребителя в маркетинге: кросс-дисциплинарный подход // Искусственный интеллект и принятие решений. 2021. №3. С.19–32. DOI: 10.14357/20718594210302.
- [4] **Боргест Н.М.** Границы онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2017. Т.7. №1. С.7–33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [5] **Смирнов С.В.** Среда моделирования для построения инженерных теорий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 1999. № 2. С.277–285. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [6] W3C Data activity building the web of data. Official site. W3C, 2021. URL: <https://www.w3.org/2001/sw/>.
- [7] **Грибова В.В., Паикова С.В., Федорищев Л.А.** Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний // Онтология проектирования. 2022. Т.12. №2. С.200–217. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
- [8] **Загоруйко Ю.А., Сидорова, Е.А., Загоруйко Г.В., Ахмадеева И.Р., Серый А.С.** Автоматизация разработки онтологий научных проблемных областей на основе паттернов онтологического проектирования // Онтология проектирования. 2021. Т.11. № 4. С.500–520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.
- [9] **Хорошевский В.Ф.** Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации // Онтология проектирования. 2019. Т.9. №4. С.429–448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [10] **Соснин П.И., Маклаев В.А.** Инструментальные средства для спецификации концептуализаций в проектировании автоматизированных систем // Онтология проектирования. 2012. Вып. 3, № 1. С.39–52.
- [11] **Смирнов А.В., Левашова Т.В.** Паттерны человеко-машинного сотрудничества в системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2024. № 2. С.3–17. DOI: 10.14357/20718594240201.
- [12] **Eoyang G.** Patterns of collaboration [Electronic resource]. Human Systems Dynamics Institute, 2018. <https://www.hsdinstitute.org/resources/patterns-of-collaboration.html>.
- [13] **Schmeil A., Eppler M.J.** Formalizing and promoting collaboration in 3D virtual environments – a blueprint for the creation of group interaction patterns // In: F. Lehmann-Grube, J. Sablatnig (eds.): Facets of Virtual Environments. FaVE 2009. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol. 33. Berlin Heidelberg: Springer, 2010. P.121–134. DOI: 10.1007/978-3-642-11743-5_10.
- [14] **Vreede G.J. De, Kolfshoten G.L., Briggs R.O.** ThinkLets: a collaboration engineering pattern language // Int. J. Comput. Appl. Technol. 2006. Vol. 25(2/3). P. 140–154. DOI: 10.1504/IJCAT.2006.009064.

- [15] **Deokar A.V., Kolfshoten G.L., de Vreede G.-J.** Prescriptive workflow design for collaboration-intensive processes using the collaboration engineering approach // *Glob. J. Flex. Syst. Manag.* 2008. Vol.9(4). P.11–20. DOI: 10.1007/BF03396547.
- [16] **Toniolo A.** [et al.] Human-machine collaboration in intelligence analysis: An expert evaluation // *Intell. Syst. with Appl.* 2023. Vol.17. P.200151. DOI: 10.1016/j.iswa.2022.200151.
- [17] **Barchetti U., Antonio C., Guido A.L., Mainetti L.** Modelling collaboration processes through design patterns // *Comput. Informatics.* 2011. Vol.30(1). P.113–135.
- [18] **de Moor A.** Community memory activation with collaboration patterns // In: L. Stillman, G. Johanson (eds.): *Proc. of the 3rd Prato Int. Community Informatics Conf. (CIRN 2006)*. Melbourne: Centre for Community Networking Research, 2006. 1 CD. File: 2006\prato2006\demoorfinal.zip.
- [19] **Dorn C., Edwards G., Medvidovic N.** Analyzing design tradeoffs in large-scale socio-technical systems through simulation of dynamic collaboration patterns // In: R. Meersman [et al.]: *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2012. Lecture Notes in Computer Science*, vol.7565. Berlin Heidelberg: Springer, 2012. P.362–379. DOI: 10.1007/978-3-642-33606-5_22.
- [20] **Papageorgiou N., Verginadis Y., Apostolou D., Mentzas G.** A collaboration pattern model for virtual organisations // In: L.M. Camarinha-Matos, I. Paraskakis, H. Afsarmanesh (eds.): *Leveraging Knowledge for Innovation in Collaborative Networks. PRO-VE 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 307. Berlin Heidelberg: Springer, 2009. P.61–68. DOI: 10.1007/978-3-642-04568-4_7.
- [21] **Verginadis Y., Apostolou D., Papageorgiou N., Mentzas G.** An architecture for collaboration patterns in agile event-driven environments // In: 2009 18th IEEE Int. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises. IEEE, 2009. P.227–230. DOI: 10.1109/WETICE.2009.12.
- [22] **Vo T.T., Coulette B., Tran H.N., Lbath R.** Defining and using collaboration patterns for software process development // In: *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD 2015) - CMDD*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2015. P.557–564. DOI: 10.5220/0005338705570564.
- [23] **van Diggelen J., Johnson M.** Team Design Patterns // In: *Proc. of the 7th Int. Conf. on Human-Agent Interaction*. New York: ACM, 2019. P. 118–126. DOI: 10.1145/3349537.3351892.
- [24] **Gottesdiener E.** Decide How to Decide [Electronic resource] // *Software Development Magazine*. 2001. No. 1. <https://www.ebgconsulting.com/Pubs/Articles/DecideHowToDecide-Gottesdiener.pdf>.
- [25] **Musen M.A.** The Protégé project // *AI Matters*. 2015. Vol.1(4). P.4–12. DOI: 10.1145/2757001.2757003.
- [26] **Simon H.** *The New Science of Decision-Making*. New York: Harper and Row, 1960.
- [27] **Simon H.** Rational Decision Making in Business Organizations // *Am. Econ. Assoc.* 1979. Vol. 69(4). P.493–513.
- [28] **Smirnov A., Ponomarev A., Levashova T., Shilov N.** Conceptual framework of a human-machine collective intelligence environment for decision support // *Proc. Bulg. Acad. Sci.* 2022. Vol.75(1). P.102–109. DOI: 10.7546/CRABS.2022.01.12.
- [29] **Фаянс А.М., Кнеллер В.Ю.** Об онтологии видов задач и методов их решения // *Онтология проектирования*. 2020. Т. 10, №3(37). С. 273–295. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-273-295.

Сведения об авторах



Смирнов Александр Викторович, 1956 г. рождения. Окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина в 1979 г., д.т.н. (1996) профессор. Главный научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации СПб ФИЦ РАН. Член IEEE с 2002 г. В списке научных трудов более 400 работ в области многоагентных систем, интеллектуальных систем поддержки принятия решений, человеко-машинных сред. Author ID (РИНЦ): 7968; Author ID (Scopus): 55725403900; Researcher ID (WoS): A-7557-2012. smir@iias.spb.su.

Левашова Татьяна Викторовна, 1962 г. рождения. Окончила Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина) в 1986 г., к.т.н. (2009). Старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации СПб ФИЦ РАН. В списке научных трудов более 200 работ в области управления знаниями, интеллектуальной поддержки принятия решений, контекстно-управляемых систем. Author ID (РИНЦ): 124630; Author ID (Scopus): 6603894696; Researcher ID (WoS): E-3643-2012. tatiana.levashova@iias.spb.su. ✉.



Поступила в редакцию 26.04.2024, после рецензирования 22.07.2024. Принята к публикации 26.07.2024.



Ontology of human-machine collaboration patterns for decision support

© 2024, A.V. Smirnov, T.V. Levashova✉

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract

In the process of human-machine collaboration, recurring problems often arise, prompting the use of collaboration patterns that offer ready-made solution schemes for similar recurring issues. The aim of the research is to develop models that facilitate the organization of human-machine collaboration while supporting decision-making based on collaboration patterns. The paper employs methods of conceptual, ontological, and scenario modeling. Based on the descriptions of collaboration patterns found in various problem areas, conceptual models were constructed representing five types of patterns: organizational patterns, cognitive patterns, information interaction patterns, process patterns, and joint engineering patterns. An ontological model of a collaboration pattern and an ontology of human-machine collaboration patterns were developed, integrating various types of such patterns. The developed models represent a new result that unifies existing approaches to the description of collaboration patterns. A scenario variant is proposed, demonstrating the possibility of using the developed ontology to support decision-making. The developed models for organizing human-machine teams and their activities can enhance the quality of decisions by using solution patterns for similar problems and ensuring effective cooperation between humans and machines.

Keywords: *collaboration patterns, human-machine collaboration, ontological model, conceptual model, decision support.*

For citation: Smirnov AV, Levashova TV. Ontology of human-machine collaboration patterns for decision support [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 421-439. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-421-439.

Financial Support: The research is due to the State Research Project no. FFZF-2022-0005.

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

List of figures

- Figure 1 – Conceptual model of organizational pattern
- Figure 2 – Conceptual model of cognitive pattern
- Figure 3 – Conceptual model of interaction pattern
- Figure 4 – Conceptual model of process pattern
- Figure 5 – Conceptual model of joint engineering pattern
- Figure 6 – Conceptual model of human-machine collaboration pattern
- Figure 7 – Top level of ontological model for human-machine collaboration pattern
- Figure 8 – Ontological model of human-machine collaboration patterns
- Figure 9 – Axioms of activity type belonging to the decision-making process
- Figure 10 – Axioms for organizational pattern
- Figure 11 – Axioms related to the “Intelligent analysis” class
- Figure 12 – Conceptual model of using human-machine collaboration patterns in decision-making support
- Figure 13 – Decision-making support scenario
- Figure 14 – Preconditions for process pattern usage

References

- [1] **Borgest NM.** Strategies of intelligence and its ontology: an attempt to understand [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2019; 9(4): 407–428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [2] **Semenova VA, Smirnov SV.** Functional content and architecture of software laboratory for ontological data analysis [In Russian]. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2023; 31(2): 85–100. DOI: 10.14498/tech.2023.2.7.

- [3] **Kudryavtsev DV, Gavrilova TA, Smirnova MM, Golovacheva KS.** Building ontology of consumer knowledge in marketing: cross-disciplinary approach [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2021; 3: 19–32. DOI: 10.14357/20718594210302.
- [4] **Borgest NM.** Boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2017; 7(1): 7–33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [5] **Smirnov SV.** Modeling workbench for development of engineering theories [In Russian]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 1999; 2: 277–285. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [6] W3C Data activity building the web of data. Official site. W3C, 2021. URL: <https://www.w3.org/2001/sw/>.
- [7] **Gribova VV, Parshkova SV, Fedorishev LA.** Ontologies for development and generation adaptive user interfaces of knowledge base editors [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 200–217. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.
- [8] **Zagorulko YuA, Sidorova EA, Zagorulko GB., Akhmadeeva IR, Sery AS.** Automation of the development of ontologies of scientific subject domains based on ontology design patterns [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(4): 500–520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.
- [9] **Khoroshevsky VF.** Ontology driven software engineering: models, methods, implementations [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2019; 9(4): 429–448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [10] **Sosnin PI, Maklaev VA.** Instrumental means for specification of conceptualizations in designing of automated systems [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2012; 1(3): 39–52.
- [11] **Smirnov AV, Levashova TV.** Patterns of human-machine collaboration in decision support systems [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2024; 2: 3–17. DOI: 10.14357/20718594240201.
- [12] **Eoyang G.** Patterns of collaboration [Electronic resource]. Human Systems Dynamics Institute, 2018. URL: <https://www.hsdinstitute.org/resources/patterns-of-collaboration.html> (accessed: 10.07.2024).
- [13] **Schmeil A, Eppler MJ.** Formalizing and promoting collaboration in 3D virtual environments – a blueprint for the creation of group interaction patterns. In: F. Lehmann-Grube, J. Sablatnig (eds.): *Facets of Virtual Environments. FaVE 2009. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 33. Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 121–134. DOI: 10.1007/978-3-642-11743-5_10.
- [14] **Vreede GJ, De, Kolfshoten GL, Briggs RO.** ThinkLets: a collaboration engineering pattern language. *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 2006; 25(2/3): 140–154. DOI: 10.1504/IJCAT.2006.009064.
- [15] **Deokar AV, Kolfshoten G., de Vreede GJ.** Prescriptive workflow design for collaboration-intensive processes using the collaboration engineering approach. *Glob. J. Flex. Syst. Manag.* 2008; 9(4): 11–20. DOI: 10.1007/BF03396547.
- [16] **Toniolo A.** et al. Human-machine collaboration in intelligence analysis: An expert evaluation. *Intell. Syst. with Appl.* 2023; 17: 200151. DOI: 10.1016/j.iswa.2022.200151.
- [17] **Barchetti U, Antonio C, Guido AL, Mainetti L.** Modelling collaboration processes through design patterns. *Comput. Informatics*. 2011; 30(1): 113–135.
- [18] **de Moor A.** Community memory activation with collaboration patterns. In: L. Stillman, G. Johanson (eds.): *Proc. of the 3rd Prato Int. Community Informatics Conf. (CIRN 2006)*. Melbourne: Centre for Community Networking Research, 2006. 1 CD. File: 2006\prato2006\demoorfinal.zip.
- [19] **Dorn C, Edwards G, Medvidovic N.** Analyzing design tradeoffs in large-scale socio-technical systems through simulation of dynamic collaboration patterns. In: R. Meersman: *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2012. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7565. Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 362–379. DOI: 10.1007/978-3-642-33606-5_22.
- [20] **Papageorgiou N, Verginadis Y, Apostolou D, Mentzas G.** A collaboration pattern model for virtual organisations In: L.M. Camarinha-Matos, I. Paraskakis, H. Afsarmanesh (eds.): *Leveraging Knowledge for Innovation in Collaborative Networks. PRO-VE 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 307. Berlin Heidelberg: Springer, 2009: 61–68. DOI: 10.1007/978-3-642-04568-4_7.
- [21] **Verginadis Y, Apostolou D, Papageorgiou N, Mentzas G.** An architecture for collaboration patterns in agile event-driven environments. In: *2009 18th IEEE Int. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises. IEEE*, 2009: 227–230. DOI: 10.1109/WETICE.2009.12.
- [22] **Vo TT, Coulette B, Tran H., Lbath R.** Defining and using collaboration patterns for software process development. In: *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD 2015) - CMDD*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2015: 557–564. DOI: 10.5220/0005338705570564.
- [23] **van Diggelen J, Johnson M.** Team Design Patterns. In: *Proc. of the 7th Int. Conf. on Human-Agent Interaction*. New York: ACM, 2019: 118–126. DOI: 10.1145/3349537.3351892.
- [24] **Gottesdiener E.** Decide How to Decide [Electronic resource] // *Software Development Magazine*. 2001; 1: URL: <https://www.ebgconsulting.com/Pubs/Articles/DecideHowToDecide-Gottesdiener.pdf>.
- [25] **Musen MA.** The Protégé project. *AI Matters*; 2015: 1(4): 4–12. DOI: 10.1145/2757001.2757003.

- [26] **Simon H.** The New Science of Decision-Making. New York: Harper and Row, 1960.
 - [27] **Simon H.** Rational Decision Making in Business Organizations. Am. Econ. Assoc. 1979; 69(4): 493–513.
 - [28] **Smirnov AV, Ponomarev AV, Levashova TV, Shilov NG.** Conceptual Framework of a Human-Machine Collective Intelligence Environment for Decision Support. Proc. Bulg. Acad. Sci. 2022; 75(1): 102–109. DOI: 10.7546/CRABS.2022.01.12.
 - [29] **Fayans AM, Kneller VYu.** About the ontology of task types and methods of their solution [In Russian]. Ontology of Designing. 2020; 10(3): 273–295. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-273-295.
-

About the authors

Alexander Viktorovich Smirnov (b. 1956) graduated from the Leningrad Polytechnic Institute named after M.I. Kalinin (Leningrad, USSR) in 1979, Dr. of sci. (1996), and professor. He is a chief researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. He is an IEEE member from 2002. He is the author and a co-author of more than 400 scientific works in the areas of multi-agent systems, intelligent decision support system, and human-machine environments. Author ID (RSCI): 7968; Author ID (Scopus): 55725403900; Researcher ID (WoS): A-7557-2012. smir@iias.spb.su.

Tatiana Viktorovna Levashova (b. 1962) graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute named after V.I. Ulyanov (Lenin) (Leningrad, USSR) in 1986, PhD (2009). She is a senior researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. She is the author and a co-author of more than 200 scientific works in the areas of knowledge management, intelligent decision support, and context-aware systems. Author ID (RSCI): 124630; Author ID (Scopus): 6603894696; Researcher ID (WoS): E-3643-2012. tatiana.levashova@iias.spb.su. ✉.

Received April 26, 2024. Revised July 22, 2024. Accepted July 26, 2024.



Система выбора и ранжирования альтернатив СВирЬ-М: теоретические основы и практика применения

© 2024, С.В. Микони ✉, Б.В. Соколов, Д.П. Бураков

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (СПб ФИЦ РАН),
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН),
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Рассматриваются системы верхнего уровня принятия решений – выбора вариантов на конечном множестве альтернатив, – названные системами многомерного оценивания объектов. Приводятся примеры таких систем. На основе невозможности установления в общем случае полного и строгого порядка на конечном множестве альтернатив логическими методами даётся теоретическое обоснование универсальности системы, включающей логические и вычислительные методы многомерного оценивания объектов. Приводятся аксиомы, положенные в основу разработки логических и вычислительных моделей многомерного оценивания объектов. На основе принципов системного анализа, применяемых для выбора сущностей по многим показателям на конечном множестве альтернатив, устанавливаются связи между методами многомерного упорядочения и классификации объектов, а также связи внутри групп этих методов. Такие связи воплощены в дереве задач, решаемых в новой редакции системы выбора и ранжирования СВирЬ-М. Излагаются принципы, положенные в основу разработки этой системы, которая состоит из девяти программ, настраиваемых на требуемую задачу. В интерфейсе настройки на решаемую задачу моделируется дерево задач многомерного оценивания объектов. Исходными данными для СВирЬ-М является конечное множество объектов, характеризуемое конечной совокупностью показателей и требований к ним. Подготовка исходных данных включает: групповую подготовку, выполняемую в табличном процессоре *MS Excel*, и индивидуальную, выполняемую средствами системы. Создаваемая в системе модель многомерного оценивания объектов может применяться для решения различных задач. Приводятся примеры применения системы для решения практических задач.

Ключевые слова: показатель, предпочтение, критерий, целевое значение, оценочная функция, достижение цели, отклонение от цели, многомерное оценивание, инструментальная система.

Цитирование: Микони С.В., Соколов Б.В., Бураков Д.П. Система выбора и ранжирования альтернатив СВирЬ-М: теоретические основы и практика применения // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С.440-456. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456.

Финансирование: исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Работа посвящается 90-летнему юбилею научного руководителя СПИИРАН, члена-корреспондента РАН Рафаэля Мидхатовича Юсупова

Введение

Развитие любой предметной области (ПрО) идёт в направлении увеличения количества решаемых задач и разрабатываемых для их решения методов и средств. Этому соответствует и научное направление «Выбор на конечном множестве альтернатив» (выбор на КМА), являющееся одним из разделов теории принятия решений. Для решения задач выбора на КМА в ранних работах были сформулированы два канонических подхода – логический и вычислительный. Логический подход базировался на сопоставлении альтернатив по экспертным оценкам характеризующих их показателей [1, 2]. В основу вычислительного подхода поло-

жен принцип вычисления оценок значений показателей, отражающих предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР), с последующим обобщением полученных частных оценок. Основные теоретические результаты в этом подходе в виде теорий ценности и полезности получены во второй половине XX-го века [3-5].

В основу этих теорий положены функции ценности и полезности, отражающие предпочтения ЛПР на шкале показателя. Для создания функций ценности применяются экспертные оценки, отражающие ценность значений показателя на различных отрезках его шкалы [3]. В отличие от функции ценности функция полезности моделирует риски ЛПР при игре в лотерею [4, 5]. Сходство между этими функциями заключается в их нелинейности и монотонности.

В работе [6] достижению максимальной полезности была противопоставлена парадигма достижения поставленной цели (*Reference Objective*), трактуемой точкой в n -мерном пространстве. Утверждалось, что любая точка в целевом пространстве, независимо от того, достижима она или нет, идеальна или нет, может использоваться вместо весовых коэффициентов для получения функций, которые имеют минимумы только в точках Парето. В качестве таковой функции был предложен минимаксный критерий частных отклонений от поставленной цели (точки в пространстве).

На примере отношения доминирования на КМА показано, что логический подход не гарантирует получение полного и строгого порядка на множестве объектов. Он должен дополняться взвешенными оценками, что требует применения вычислительных процедур [7]. В свою очередь, вычислительный подход должен завершаться логическими процедурами сопоставления количественных оценок объектов для установления отношения порядка.

Практические методы включают в разных сочетаниях логические и вычислительные процедуры для достижения полного порядка объектов. Такое сочетание характерно для метода аналитической иерархии (МАИ) Т. Саати [1]. Различие между этими группами методов заключается в том, какой вид процедур положен в основу метода.

По отношению к размерности задач выбора, решаемых логическими и вычислительными методами, в работе [8] предложено делить их на нерейтинговые и рейтинговые методы. К нерейтинговым отнесены логические методы, имеющие ограничения на размерность моделей выбора, а к рейтинговым – вычислительные методы, не имеющие таких ограничений. ЛПР не только предлагалась исходная информация для принятия решений, но и рекомендовались лучшие варианты решения. Размерность решаемых задач побудила специалистов заниматься их автоматизацией. С ростом числа методов выбора на КМА множилось число автоматизирующих их систем. Обратной тенденцией является объединение различных методов в рамках одной системы автоматизации. В частности, разработка системы выбора и ранжирования альтернатив (СВИРЬ) была предпринята в Петербургском государственном университете путей сообщения [9]. В настоящее время выявилась потребность в дальнейшем развитии системы. Идеи, положенные в основу обновлённой системы, и практика её применения излагаются в настоящей статье.

1 Краткий обзор систем поддержки принятия решений (СППР)

Информационные системы, рекомендующие лучшие варианты решения, получили название информационно-советующих систем [10] или СППР [11]. Решению задачи выбора предшествуют подготовительные этапы:

- 1) формулирование проблемы;
- 2) постановка цели и формулирование задачи принятия решения;
- 3) сбор информации, требуемой для принятия решения;
- 4) проектирование модели принятия решения;

Выбор предпочтительного варианта завершается оцениванием качества решения и анализом его последствий.

Система, реализующая все перечисленные этапы, относится к классу инструментальных систем (ИС) [12]. Отличительными свойствами ИС являются: проблемно/предметная ориентация, универсальные возможности, независимые от решаемой задачи, обеспечение технологической основы для прикладных систем, комфортная среда разработки, независимость от вычислительной платформы.

Применительно к реализации вычислительных методов многомерного оценивания (ММО) на КМА универсальной можно считать среду табличного процессора *MS Excel* (ТП). В работе [13] показаны примеры использования ТП для решения задач выбора на КМА.

Разработан ряд систем, объединяющих все этапы принятия решения, к которым относится, например: СППР [14], система «ОЦЕНКА и ВЫБОР» [15] и СВирЬ [9].

В системе «ОЦЕНКА и ВЫБОР» объединены методы доминантного анализа, многокритериальной оптимизации и оптимизации по ценности. В ней процедура человеко-машинного агрегирования информации представляет собой последовательность следующих этапов:

- 1) фильтрация анализируемых объектов по области допустимых значений показателей;
- 2) доминантный анализ Парето с целью исключения доминируемых и выделения доминирующих объектов;
- 3) грубое ранжирование на основе метода Фишберна [5] (с использованием абсолютных оценок);
- 4) определение относительной приоритетности объектов МАИ;
- 5) представление результатов на плоскости типа «выгоды – издержки» и их предъявление ЛПР;
- 6) итоговый выбор наилучшего решения, либо итоговое определение относительных приоритетов объектов.

В системе СВирЬ объединены не только логические и вычислительные методы упорядочения на КМА, но и методы аксиоматической классификации на конечном множестве классов, а также матричные методы сопоставления сущностей. Этим достигнута возможность совмещать методы упорядочения и классификации в рамках решения одной задачи.

Большинство СППР, реализующих методы выбора на КМА, отличаются методами выбора и ПрО. Разнообразие ПрО и решаемых в них задач выбора влечёт большое количество публикаций, в которых уточняются и развиваются разработанные ранее методы. Для их модификации привлекаются средства когнитивной графики, экспертные методы, теория чисел и новые информационные технологии, такие, как эволюционное моделирование и машинное обучение. Неопределённость предпочтений ЛПР моделируется с привлечением средств многозначной (нечёткой или вероятностной) логики.

Из логических методов наибольшую известность и развитие получил МАИ [1, 16-18]. В работе [16] предложено применять нечёткую логику при формировании предпочтений в матрице парных сравнений. В работе [17] предложено заменить средневзвешенную аддитивную обобщающую функцию в МАИ мультипликативной функцией, значения которой учитывают близость частных оценок показателей. В работе [18] для вычисления объективных весов критериев в МАИ предложено использовать метод *TOPSIS* (*Technique for Order of Preference by Similarity Ideal Solution*). Неопределённость суждений эксперта моделируется нечёткими числами Пифагора.

Метод многомерного упорядочения (*Simple Multi-Attribute Rating Technique – SMART*) получил развитие в работах [19-24]. В работе [19] описана программа *InDM2* для решения динамических многоцелевых задач оптимизации с использованием эволюционных алгоритмов, которая позволяет учитывать предпочтения пользователя при поиске решений. Пользователь может выражать свои предпочтения с помощью одной или нескольких опорных точек, которые определяют желаемую область. Программа *InDM2* оснащена методами для графического отображения различных приближений области интереса, полученных в процессе оптимизации. Это позволяет пользователю проверять и изменять желаемую область интереса в соответствии с полученной информацией.

В работе [20] предложено использовать рассуждения экспертов при анализе результатов метода многокритериального группового принятия решений. В работе [21] предложен способ, который помогает определить возможное согласие в групповом (многоакторном) многокритериальном анализе (*The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis – MAMCA*). Для этого исполь-

зуется модель анализа чувствительности веса, основанная на обратной смешанной линейной оптимизации. Этот подход позволяет найти минимальное изменение веса каждым участником, чтобы улучшить положение данной альтернативы в индивидуальном рейтинге.

В статье [22] представлен анализ доступных объективных методов для определения весов критериев в СППР. Показано, что каждый метод должен обеспечивать уникальные веса с учётом входных данных. Это подтверждает важность правильного выбора метода для конкретной модели поддержки принятия решений с несколькими критериями.

В работах [23-27] последовательно развивалась идея упрощения процедуры нахождения относительной важности частных критериев. Нахождение численных оценок важности предложено выполнять путём деления критериев по важности на группы. Каждая группа нумеруется по важности. Для нахождения значений коэффициентов важности по номеру группы разработаны универсальные таблицы для двух типов свёрток критериев (средневзвешенной – аддитивной и гарантирующей Гермейера).

Общей чертой рассмотренных методов является стремление повысить качество индивидуальных и групповых экспертных оценок с целью более достоверного выбора лучшей альтернативы. Реализация в разных средах моделирования затрудняет сопоставление рассмотренных методов. Поэтому актуальной остаётся задача реализации различных методов в единой среде моделирования.

В системе СВИРЬ имеется возможность программной настройки условий выбора и реализации известных методов на основе ММО объектов для выбора наиболее подходящего метода решения поставленной задачи. К новой редакции системы СВИРЬ-М предъявлены следующие требования:

- системность в решении задач (оценивание модели ПрО разными методами);
- расширяемость состава задач;
- универсальность по отношению к методам ММО альтернатив;
- применимость к любой ПрО
- технологичность процесса оценивания;
- обоснованность результатов за счёт применения средств анализа информации на этапах решения задачи;
- модульно-компонентная архитектура.

2 Теоретические основы обобщения методов ММО объектов

Принципиальным различием логических и вычислительных методов выбора на КМА является использование ими операций логической (булевой или нечёткой) алгебры и алгебры вещественных чисел соответственно. Поскольку логические и алгебраические операции несовместимы, они могут реализовываться только последовательно. В этом плане любая модель выбора неоднородна относительно выполняемых операций. Её относят к логической или вычислительной модели по первичности применения соответствующих операций.

Возможность объединения логических моделей и методов в единую систему обуславливается общностью выполняемых ими операций по *сопоставлению* значений показателей. Теорией, объединяющей эти методы, является исчисление предикатов первого порядка.

Отношение предпочтения удовлетворяет двум аксиомам сопоставления объектов [4]:

1. Аксиома вариантов предпочтения

$$(A \succ B) \Leftrightarrow f(A) > f(B) \vee (B \succ A) \Leftrightarrow f(B) > f(A) \vee (A \equiv B) \Leftrightarrow f(A) = f(B).$$
2. Аксиома транзитивности превосходства

$$f(A) \succ f(B) \wedge f(B) \succ f(C) \Rightarrow f(A) \succ f(C).$$

Первая аксиома утверждает, что либо одна альтернатива *предпочтительнее* другой, либо они *равноценны*, и эти отношения могут быть определены по характеризующему их свойству f . Вторая аксиома устанавливает транзитивность отношений превосходства относительно

свойства f . Согласно первой аксиоме отношение предпочтения $R_{\text{пр}}$ на множестве X следует рассматривать как объединение отношений *превосходства* $R_{>}$ и *соответствия* $R_{=}$:

$$R_{\text{пр}} = R_{>} \cup R_{=}$$

В явном виде отношение предпочтения $R_{\text{пр}}$ на множестве X выражается через *порядок* мест, присвоенный элементам множества. Этот порядок устанавливается решением задачи ранжирования ациклического направленного (ориентированного) графа (орграфа), выражающего бинарное отношение $R_{\text{пр}}$. Уровни такого графа являются непустыми множествами, образующими разбиение вершин орграфа в направлении от истоков к стокам. Равенство числа уровней числу вершин орграфа (каждый уровень включает одну вершину) означает *строгий* порядок на конечном множестве X .

В отличие от прямого упорядочения альтернатив, основанного на анализе истинности предикатов, многоцелевая оптимизация выполняет косвенное упорядочение альтернатив на основе их численных оценок. Для получения и обобщения численных оценок применяются вычислительные процедуры. Возможность объединения вычислительных моделей и методов в единую систему регламентируется шестью исходными положениями (аксиомами) [28]:

- 1) шкалирования показателей (*требования к шкале*);
- 2) предпочтений на шкале показателя (*склонность и несклонность ЛПР к риску*);
- 3) отношения к цели (*достижения / отклонения*);
- 4) вида цели (*реальная / идеальная*);
- 5) общности цели (*сопоставимость с ресурсами объектов*);
- 6) согласованности частных оценок (*общая оценка как компромисс частных оценок*).

Следует отметить субъективизм, привносимый ЛПР при создании любой модели многоцелевой оптимизации. Он связан, прежде всего, с заданием границ шкал $[y_j \min, y_j \max]$ и выбором на них целевых значений c_j , $j = \overline{1, n}$. Целевое значение c_j , названное *реальной целью* из-за условия $y_j \min < c_j < y_j \max$, моделирует чувство меры человека. Оно означает отказ от экстремизма, соответствующего условию $c_j = y_j \min$ в задаче минимизации и $c_j = y_j \max$ – в задаче максимизации j -го показателя.

Введение реальной цели обусловило *двойственность* задачи оптимизации на шкале показателя. Взаимно дополнительными задачами по отношению к реальной цели являются максимизация достижения цели и минимизация отклонения от неё.

С другой стороны, введение реальной цели позволило связать многокритериальную оптимизацию с многомерной оптимизацией объектов по ценности. Эти виды оптимизации связывает униполярная шкала значений нормирующей функции критерия и функции ценности. Значение функции ценности для реальной цели задаётся экспертом. Оно тем ближе к единице, чем в большей степени удовлетворяет запросы ЛПР.

Применительно к теории полезности реальную цель c на шкале показателя можно рассматривать как точку отказа от лотереи [2]. В этой точке доход и потери ЛПР равны нулю. Потери ЛПР отражаются на отрицательной полуоси значений функции полезности. Таким образом, функция полезности, в отличие от функции ценности, является биполярной.

Реальной цели соответствуют особые точки функций ценности и полезности. В функции ценности это аргумент точки перегиба, за которой ЛПР теряет интерес к дальнейшей оптимизации (рисунок 1а). В функции полезности это значение показателя, для которого целесообразен отказ от участия в лотерее из-за возможности потерь (рисунок 1б).

Промежуточной функцией между нормирующей функцией критерия и нелинейными функциями ценности и полезности является кусочно-линейная функция с переломом в точке c , отражающая изменение интереса ЛПР к дальнейшей оптимизации значений показателя.

В задачах классификации аналогом реальной цели является норма, оформляемая как некий средний класс, например, среднее (приемлемое) качество в квалиметрии. Отклонения по

обе стороны от нормы моделируется требуемым числом классов, как минимум по одному в каждую из сторон [29].

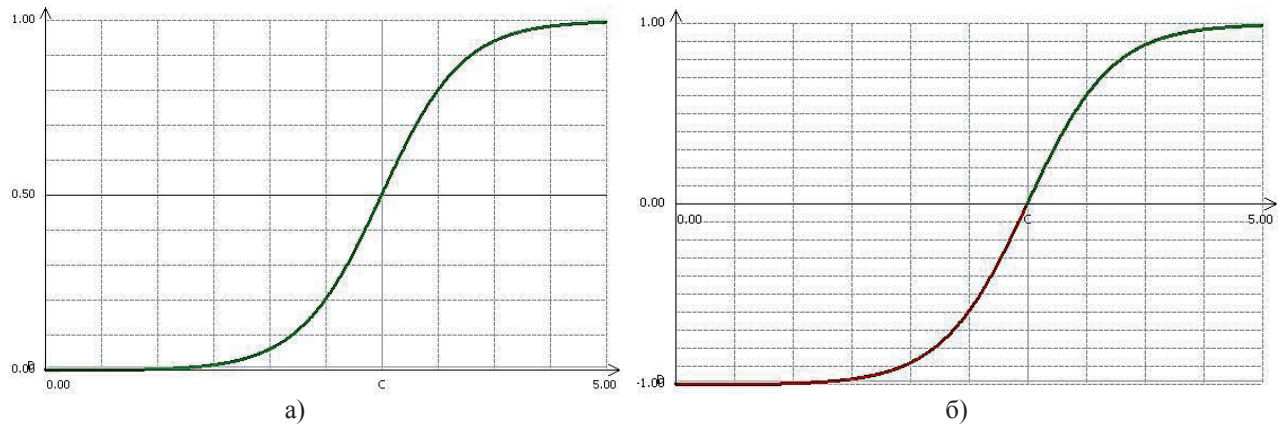


Рисунок 1 – Вид функций ценности а) и полезности б)

3 Системность моделей и методов ММО объектов

Свойство системности проявляется в наличии обоснованных связей между элементами системы. Различие между упорядочением и классификацией заключается в объекте выбора: альтернатива или класс, а сходство между ними при применении логических методов осуществляется через связь между предикатами превосходства и соответствия. Предикат соответствия значения j -го показателя интервалу $y_j \in [c_{jн}, c_{jв}]$ на его шкале представим как двустороннее превосходство: $\geq (y_j, c_{jн}) \ \& \ \leq (y_j, c_{jв})$. Интервальное ограничение представимо двумя полуинтервальными ограничениями. Эта связь позволяет задавать требования к показателям в задачах упорядочения и классификации объектов в рамках единой системы кодирования предикатов.

Таблица 1 - Правила кодирования требований к значениям показателей

Границы	П1	П2	П3	П4	П5	П6
МинГШ	0	0	0	0	0	0
МаксГШ	10	10	10	10	10	10
НГН	4	4	4			*
ВГН	5	4		5	*	
	[4, 5]	равно 4	≥ 4	≤ 5	$\rightarrow 10$	$\rightarrow 0$
	Интервал	Равно	Не менее	Не более	Max	Min

нижняя (НГН) и верхняя (ВГН) границы нормы на шкале показателя [0, 10]. Все ограничения кодируются как частные случаи ограничения «Интервал» (2-й столбец таблицы).

Связь между логическими методами реализуется через *парное сравнение* сущностей. Объекты сопоставляются либо по каждому показателю поочередно, как в МАИ, либо по всем показателям одновременно, как в доминантном анализе.

Введение реальной цели на шкале показателя породило различные виды связей между вычислительными методами. Приближение значения показателя к реальной цели моделирует принцип достижения цели, а удаление значения показателя в одну из сторон от реальной цели моделирует принцип отклонения. Это отражает принцип двойственности достижения и отклонения от цели. Введение реальной цели соответствует начальному шагу построения функции ценности по точкам, что позволяет связать линейно-кусочную оценочную функцию

В таблице 1 приведены примеры кодирования шести вариантов требований к значениям показателей (П1-П6) на основе ограничения «Интервал». Сокращения МинГШ и МаксГШ обозначают границы значений показателя. Две нижние строки таблицы представлены как

(ОцФ) показателя с ограниченным значением с нелинейной функцией ценности, созданной по точкам. Отображение нормирующей функции критерия и функции ценности показателя на униполярную ось ординат позволяет объединить соответствующие методы в рамках решения общей задачи. Это означает возможность применения различных ОцФ для оценивания показателей объекта. В задачах упорядочения объектов они являются монотонными.

В системе СВІРЬ-М имеется библиотека типовых ОцФ, отражающих склонность / не склонность ЛПР к риску [30]. Эти свойства рассматривались с позиции теории полезности. Однако они применимы и к непрерывным функциям ценности. Разница между функциями ценности и полезности заключается в необходимости отрицательной полуоси ординат для последней, что позволяет отразить потери ЛПР на некотором отрезке шкалы показателя.

В отличие от задач упорядочения объектов с ключевым понятием «реальная цель» в задачах классификации ключевым является понятие «норма». В общем случае она представляется отрезком $[c_{jн}, c_{jв}]$ на шкале j -го показателя. Отклонения от нормы представляются классами в обе стороны от нормы. ОцФ класса называется функцией принадлежности (ФПр) классу. Для промежуточного класса она является немонотонной [29].

С точки зрения соответствия j -го показателя норме отклонения в любую сторону от нормы нежелательны. С точки зрения улучшения значений j -го показателя отклонение в одну из сторон от нормы может оказаться предпочтительным. Отклонения оптимизируемого показателя в предпочтительную сторону от нормы подчиняются правилам порядка, что моделируется применением предикатов «Не менее» и «Не более» и указывает на связь между задачами упорядочения и классификации объектов.

4 Задачи, решаемые СВІРЬ-М

Связность моделей и методов ММО объектов легла в основу дерева задач, решаемых в ИС СВІРЬ-М. Дерево задач делится на три ветви с именами «Отбор», «Порядок» и «Выбор» (рисунок 2). Отбор является вариантом классификации с одним допустимым классом. Он выделен из классификации (ветвь «Отбор») и поставлен первым в роли предварительного отбора объектов, подлежащих как упорядочению, так и классификации. В задачах отбора отбираются либо объекты, удовлетворяющие некоторой совокупности ограничений на значения показателей (задача 1), либо недоминируемые объекты (задача 2).

Задачи упорядочения по способу сопоставления объектов – сравнительного и прямого – разделены на две подгруппы. Задачи 3-8 первой подгруппы, согласно классификации [8] названные нерейтинговыми методами, основаны на попарном сопоставлении объектов по многим показателям. Индивидуальное сопоставление сущностей по каждому показателю реализуется матрицей парных сравнений (МПС) и её расширением на иерархию показателей – МАИ. При формировании МПС кроме кратности предпочтений, применяемой в МАИ, в системе СВІРЬ-М используются ещё предпочтения трёх типов: фактов предпочтений (качественные оценки 0 и 1), доли единицы при групповой экспертизе и «Выигрыши-Потери» при анализе турнирной таблицы.

На МПС решается распределительная задача (распределение долей целого). Вычисляемый на основе сформированной матрицы вектор весов может отражать как результаты сопоставления каждой сущности с остальными сущностями, так и соотношение сил сущностей по результатам их взаимодействия в любых сочетаниях. Взаимодействие сущностей в любых сочетаниях реализуется нахождением собственного вектора, соответствующего максимальному собственному числу неотрицательной невырожденной неприводимой матрицы [31]. Нормированные компоненты собственного вектора отражают взаимную важность оцениваемых сущностей.

Качество МПС оценивается специальными показателями. Непротиворечивость предпочтений эксперта выражается коэффициентом согласованности, а степень противоборства в матрице «Выигрыши-Потери» – показателем выраженности предпочтений. Коэффициент согласованности характеризует результат работы эксперта, а выраженность предпочтений – соотношение отношений превосходства (побед) и равноценности (ничьих) при использовании предпочтений «Выигрыши-Потери».

Векторное сопоставление объектов по всем показателям реализует отношение Парето-доминирования (задача 5) и его модификации – лексисимной оптимизации (задача 7). Порядок следования значений показателя при лексисимной оптимизации индивидуален для каждого объекта, что соответствует принципу взаимозаменяемости критериев. Получение лексикографического порядка объектов (задача 6) основано на привлечении информации о важности критериев по такому же принципу, который используется при создании библиотечных каталогов.

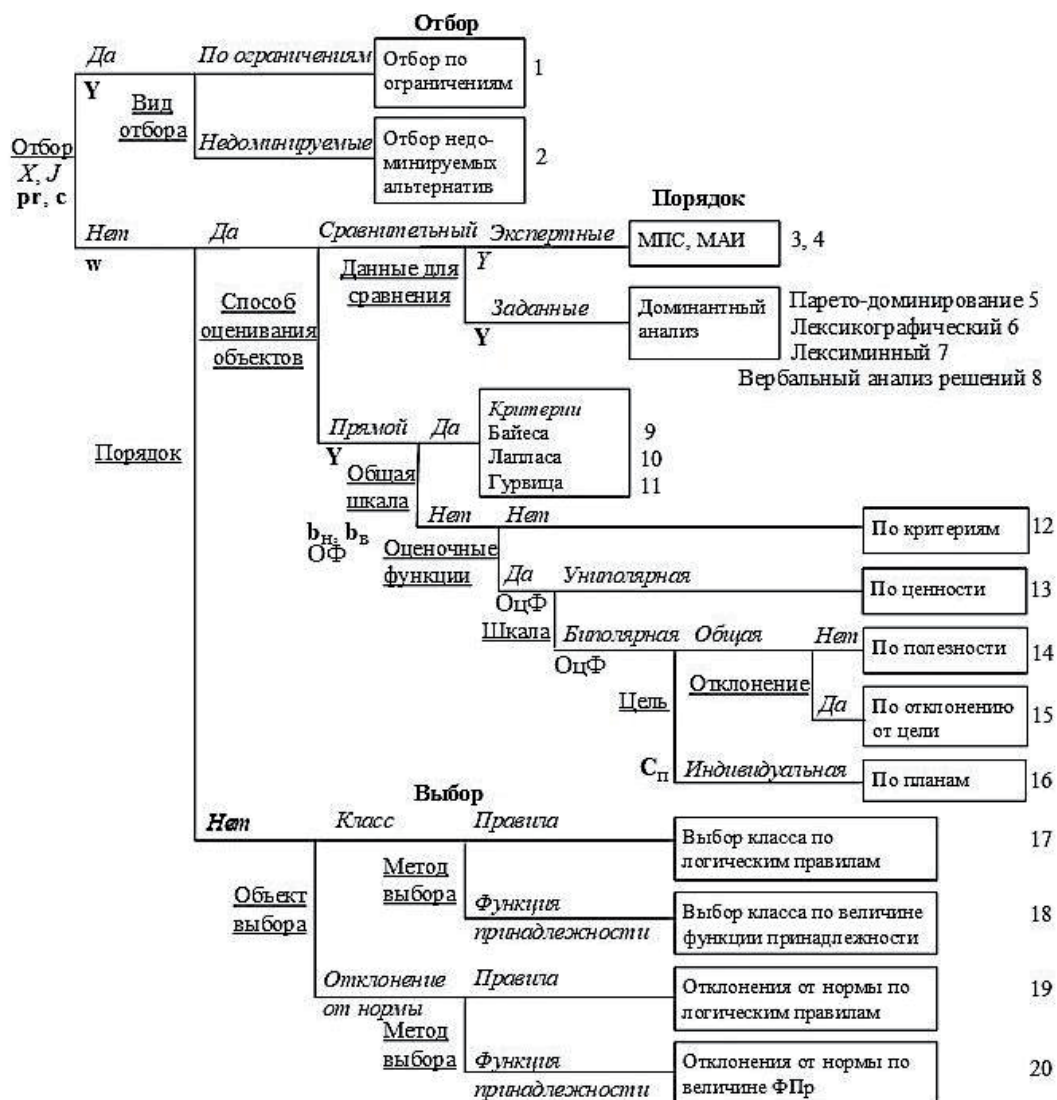


Рисунок 2 – Дерево задач, решаемых в системе СВІРЬ-М

Методы доминантного анализа оперируют векторными оценками объектов. На этой основе они называются также методами векторной оптимизации. Из задач доминантного ана-

лиза наиболее востребована задача Парето-доминирования 5, реализующая минимальный перечень условий [7]:

- каждый показатель измеряется в своей шкале;
- шкала показателя позволяет установить предпочтение между объектами по данному критерию;
- все показатели имеют одинаковую важность.

Выделение недоминируемых объектов позволяет существенно уменьшить число претендентов на лучший объект.

В основу вербального анализа решений (задача 8) положен принцип сопоставления объектов по качественным значениям показателей с построением единой шкалы изменения качества на множестве показателей [2]. На основе единой шкалы изменения качества с использованием алгоритма последовательного выделения недоминируемых объектов устанавливается отношение частичного порядка между ними.

Задачи 9-11 выбора хода по критериям Байеса, Лапласа, Гурвица решаются в теории статистических игр и характеризуются одинаковой шкалой для всех показателей, измеряющих выгоду i -го хода при j -м состоянии в единицах полезности (например, в деньгах).

Задачи 12-16 упорядочения объектов различаются применяемыми в них ОцФ. В задаче 12 многокритериальной оптимизации в качестве ОцФ используются нормирующие функции показателей. Они строятся автоматически нормированием значения показателя диапазоном его шкалы с учётом направленности предпочтения ЛПР.

В задачах 13 и 14 оптимизации объектов по ценности и полезности соответствующие ОцФ показателей строятся экспертом. В задаче 13 оптимизации объектов по ценности применяются униполярные ОцФ, а в задаче 14 оптимизации по полезности – биполярные ОцФ. При использовании библиотеки ОцФ форма выбранной ОцФ настраивается параметрами функции.

Учитывая одинаковую полярность нормирующей функции критерия и функции ценности, имеется возможность выполнять многомерную оптимизацию по критериям и функциям ценности в рамках общей задачи.

В задаче 15 упорядочения объектов по отклонению от цели в качестве ОцФ используются биполярные кусочно-линейные функции. Одна полуось функции фиксирует штраф за не достижение целевого значения показателя, а другая полуось – поощрение за его превышение.

В задаче 16 оптимизации объектов по индивидуальным планам линейные плановые функции строятся относительно планового значения показателя.

Задачи 17-20 классификации объектов различаются назначением (выбором класса без учёта и с учётом отклонений от нормы) и способами их решения – логическим или вычислительным. Выбор класса по логическим правилам (задача 17) выполняется нахождением класса, отвечающего совокупности заданных ограничений на значения показателей. Выбор класса по величине ФПр (задача 18) выполняется нахождением класса с наибольшей мерой принадлежности по всем показателям. Задача 19 отклонения от нормы по логическим правилам определяет наличие и направленность отклонения значения показателя за границы нормы. Задача 20 отклонения от нормы по ФПр определяет направление и величину отклонения значения показателя за пределы нижней или верхней границы интервальной нормы.

5 Характеристика СВІРЬ-М

5.1 Этапы и принципы работы системы

В основу работы системы положены следующие этапы и принципы.

1. Первый этап подготовки исходных данных и требований к показателям выполняется в ТП. Для задач небольшой размерности он может выполняться средствами самой системы.

2. Второй этап подготовки исходных данных и уточнения требований к показателям в рамках создания модели ММО выполняется средствами самой системы.
3. Настройка системы на решаемую задачу выполняется через контекстно-управляемый интерфейс, моделирующий дерево задач ММО объектов.
4. Редактирование иерархической модели ПрО выполняется путём перемещения показателей объекта между таблицами.
5. Сигналом завершения создания модели ПрО и настройки её на требуемую задачу является активация кнопки «Решить задачу».
6. Результаты решения задачи выводятся на экран в табличной и графической форме.
7. Исходные данные и результаты решения задачи анализируются с применением средств статистического и логического анализа и когнитивной графики.
8. Для дальнейшего использования результаты решения задачи пересылаются в ТП.
9. Создаваемая в системе модель ММО объектов может применяться для решения различных задач. Вместе с решаемыми задачами она сохраняется в именуемом пакете ПрО.
10. Допускается работа с несколькими пакетами задач.

5.2 Исходные данные

Для выполнения ММО объекта необходимо знать:

- характеристику оцениваемого объекта;
 - требования к показателям, характеризующим объект.
- Характеристика оцениваемого объекта включает списки:
- оцениваемых объектов;
 - показателей, отражающих свойства объекта.

Списки оцениваемых объектов и показателей объединяются в таблицу «Объекты/Показатели» размерностью $N \times n$, где N – число объектов, n – число показателей.

Показатели, характеризующие объект, делятся на первичные и составные. Первичные показатели могут представляться в символьном и численном виде. Символьные показатели подлежат кодированию. Численные показатели могут служить аргументами для вычисления вторичных (вычисляемых) показателей. Составные показатели отражают показатели, объединённые по назначению в группы.

5.3 Создание модели исходных данных

Моделью исходных данных является таблица «Объекты / Показатели». Она может создаваться средствами системы, либо вводиться из ТП.

Табличные данные подвергаются содержательному, логическому и корреляционному анализу. Содержательный анализ альтернатив на осуществимость предполагает проверку на доступность альтернативы в текущий период времени. Логический анализ альтернатив на противоречивость заключается в проверке их соответствия поставленной цели. Корреляционный анализ показывает степень взаимозависимостей показателей. Существенно зависимые показатели исключаются из оценивания.

В задачах упорядочения объектов определяется выпуклая оболочка множества этих объектов в пространстве показателей [32]. Любая точка выпуклой оболочки является кандидатом на лучший вариант в задачах оптимизации. При группировании показателей по назначению выполняется их структурирование путём переноса из исходной таблицы в дочерние таблицы иерархии. Полученная после указанных операций модель исходных данных применяется для решения любых задач ММО объектов.

5.4 Создание модели ММО объектов

Создание модели ММО объектов имеет целью настройку модели исходных данных на решаемую задачу, которая заключается в последовательном уточнении требований к модели

ММО, следуя по дереву задач. Например, выбор задачи «Многоцелевая оптимизация» в окне «Настройка задачи» СВІРЬ-М выполняется в следующей последовательности:

- 1) В меню «Основная задача» выбирается опция «Упорядочение»;
- 2) В меню «Метод решения» выбирается опция «Многоцелевая оптимизация»;
- 3) В меню «Способ оценивания» выбирается опция «Прямой» способ (в отличие от сравнительного способа в матрицах парных сравнений);
- 4) При условии различных шкал показателей, используемых в качестве критериев, и/или востребованности ОЦ показателей задаётся требование «Использовать ОЦФ»;
- 5) В меню «Область значений ОЦФ» при выполнении многокритериальной оптимизации и оптимизации по ценности выбирается опция «Униполярная» шкала функции;
- 6) В меню «Обобщающая функция» выбирается любая типовая либо произвольная функция.

При выборе задачи, решаемой на основе вычисляемых оценок показателей, формируются требования к показателям такие, как границы шкалы, важность (вес), реальная цель или норма. Они задаются средствами системы, либо могут вводиться из ТП. Многообразие ОЦФ показателей затрудняет их задание в ТП. Поэтому за базовый вариант принята настройка ОЦФ и их параметров средствами системы. Завершающим этапом создания вычислительной модели ММО является выбор обобщающей функции, реализующей компромисс между противоречивыми оценками показателей. Для выбора и настройки ОЦФ в СВІРЬ-М используется библиотека типовых ОЦФ.

5.5 Вывод и анализ результатов решения задачи

Результаты решения задач ММО объектов выводятся в табличной форме. В задачах упорядочения выводятся ранги оцениваемых объектов, а в задачах классификации – классы, которым объекты принадлежат в наибольшей степени. В задачах с вычисляемыми оценками объектов помимо рангов и классов выводятся частные и общие оценки объектов, а также диапазоны возможных рангов каждого объекта, получаемых при варьировании предпочтений ЛПР. В задачах классификации таблица результатов дополняется таблицей принадлежности классам.

Таблицы оценок окрашиваются цветами, разделяющими высокие, средние и низкие оценки. Цветовая гамма облегчает анализ оценок в таблице. Анализ результатов облегчается применением когнитивной графики с раскрашенными графами [33]. В задачах доминантного анализа таковым является граф доминирования с показателями качества порядка: доминирования, несравнимости, неразличимости и строгости порядка вершин многоуровневого графа.

В задачах с вычисляемыми оценками выводится график оценок составных показателей и объектов. В задачах классификации выводится таблица принадлежности каждого объекта к заданным классам, как по составным, так и по первичным показателям. Круговые и линейные диаграммы вкладов оценок показателей в общую оценку помогают оценить меру её зависимости от каждого показателя с учётом его веса.

Важную роль в анализе результатов оценивания играет сопоставление результатов, получаемых по разным показателям, и при изменении параметров модели ММО [34].

6 Примеры применения СВІРЬ-М

6.1 Определение рейтинга объектов

По заказу городского управления инвентаризации и оценки недвижимого и движимого имущества Санкт-Петербурга проведён эксперимент на предмет соотношения рыночной стоимости и стоимости одного квадратного метра городских квартир [34]. Для решения этой задачи сопоставлены рейтинги выборки из 50-ти однокомнатных квартир, определённые по

этим показателям. Сделан вывод о существенном влиянии состава оцениваемых показателей на определение рейтинга квартир по рыночной стоимости и стоимости одного квадратного метра.

6.2 Оперативное управление беспилотным летательным аппаратом (БПЛА)

В [35] приведён пример управления БПЛА, характеризуемого иерархической системой показателей. На основании границ норм строится матрица одиночных отклонений показателей от нормы. Текущее состояние объекта сравнивается с номинальным. В случае их несовпадения формируется вектор отклонения от нормы. Осуществляется поиск строки матрицы отклонений, совпадающей с вектором отклонения. Найденная строка инициирует действие, парирующее отклонение. Если вектор фиксирует более одного отклонения, выбирается строка матрицы с наибольшим приоритетом показателя, имеющего отклонение от нормы, и инициируется действие, соответствующее этой строке. К преимуществам табличной модели управления БПЛА относятся удобство и простота создания и изменения модели и её отладки, что важно в полевых условиях применения БПЛА.

Заключение

Сходство и различия, выявленные между методами оптимизации и классификации по многим показателям, позволило объединить их в рамках одной программной системы. Это даёт возможность решать задачи выбора на КМА различными методами и сопоставлять полученные результаты.

СВИРЬ-М представляет собой универсальный инструмент для создания моделей и реализации как логических, так и вычислительных методов ММО объектов в различных ПрО. Технологичность системы обеспечивает групповой ввод данных и настроек показателей объектов, совместное хранение модели и решаемых на ней задач, быстрый переход от одной задачи к другой, оперативное реструктурирование показателей, работу с несколькими ПрО. Достоверность результатов обеспечивается применением логического и статистического анализа, средств когнитивной графики. Архитектура системы рассчитана на встраивание программных модулей во внешние системы управления. Приведены примеры применения системы для решения практических задач, подтверждающие универсальный характер СВИРЬ-М.

Отмеченные свойства системы делают её удобной средой моделирования различных вариантов выбора на КМА и обеспечивают широкий спектр применения в исследованиях, решении практических задач и при обучении студентов [36].

Список источников

- [1] *Saaty T.L.* The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation // New York, McGraw-Hill. 1980.
- [2] *Ларичев О.И.* Вербальный анализ решений. М.: Наука, 2006, 181 с.
- [3] *Keeney R.L., Raiffa H.* Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. New York, Wiley. 1976. 569 p.
- [4] *Нейман Д., Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. Пер. с англ. Н.Н. Воробьева. М.: Наука, 1970. 708 с.
- [5] *Фишберн П.С.* Теория полезности для принятия решений / Пер. с англ. В.Н. Воробьевой, А.Я. Кируты; Под ред. Н.Н. Воробьева. М.: Наука, 1978. 352 с.
- [6] *Wierzbicki A. P.* The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. In: G. Fandel and T. Gal, Eds., Multiple Criteria Decision Making Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 1980. P.468-486.

- [7] **Подиновский В.В.** Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Наука, 2019. 103 с.
- [8] **Velasquez M., Hester P.T.** An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods // International Journal of Operations Research. 2013. Vol.10, No.2. P.56-66.
- [9] **Микони С.В.** Система выбора и ранжирования «СВирЬ» // Труды международного конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке». Дивноморское 3–8.09.2001. М.: Физматгиз, 2001. Том 1. С.500-507.
- [10] **Избачков С.Ю., Петров В.Н.** Информационные системы. СПб.: Питер, 2008. 655 с.
- [11] **Sprague R.** A Framework for the Development of Decision Support Systems. MIS Quarterly. 1980. Vol.4, No.4, P.1–25. DOI: 10.2307/248957.
- [12] **Инатова Э.Р., Инатов Ю.В.** Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. 2-е изд., стер. М.: Флинта, 2016. 257 с.
- [13] **Курицкий Б.Я.** Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. СПб.: BHV, 1997. 384 с.
- [14] **Jimenez A., Rios-Insua S., Mateos A.** Decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments // Decision Support Systems 36. 2003. P.65- 79. DOI: 10.1016/s0167-9236(02)00137-9.
- [15] Информационно-аналитическая система "ОЦЕНКА и ВЫБОР" // СОФТЕЛЪ: Сто компьютерных программ для бизнеса (каталог 1997-98). М.: "Хамтек Паблишер". 1997. С.156-165.
- [16] **Krejić J.** Pairwise Comparison Matrices and their Fuzzy Extension: Multi-criteria Decision Making with a New Fuzzy Approach, in Series Studies in Fuzziness and Soft Computing, 366, Springer, 2018. 273 p. DOI: 10.1007/978-3-319-77715-3.
- [17] **Krejić J., Stoklasa J.** Aggregation in the Analytic Hierarchy Process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean, Expert Systems with Applications 114: 97-106, 2018. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.06.060.
- [18] **Sarkar B., Biswas A.** Pythagorean fuzzy AHP-TOPSIS integrated approach for transportation management through a new distance measure. Soft Computing. 2021 Mar; 25(5): 4073-89. DOI: 10.1007/s00500-020-05433-2.
- [19] **Nebro A.J., Ruiz A.B., Barba-González C., García-Nieto J.M., Luque M., Aldana-Montes J.F.,** InDM2: Interactive Dynamic Multi-Objective Decision Making using evolutionary algorithms, Swarm and Evolutionary Computation, 40:184-195, 2018. DOI: 10.1016/j.swevo.2018.02.004.
- [20] **Morente-Molinera JA, Kou G, Samuylov K, Cabrerizo FJ, Herrera-Viedma E.** Using argumentation in expert's debate to analyze multi-criteria group decision making method results. Information Sciences. 2021 Sep 1;573:433-52. DOI: 10.1016/j.ins.2021.05.086.
- [21] **Huang H, De Smet Y, Macharis C, Doan NA.** Collaborative decision-making in sustainable mobility: identifying possible consensuses in the multi-actor multi-criteria analysis based on inverse mixed-integer linear optimization. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2021 Jan 2;28(1): 64-74. DOI: 10.1080/13504509.2020.1795005.
- [22] **Paradowski B, Shekhovtsov A, Bączkiewicz A, Kizielewicz B, Salabun W.** Similarity Analysis of Methods for Objective Determination of Weights in Multi-Criteria Decision Support Systems. Symmetry. 2021 Oct;13(10):1874. DOI: 10.3390/sym13101874.
- [23] **Пиявский С.А.** Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации // Онтология проектирования. 2013. №1. С.65-85.
- [24] **Пиявский С.А.** Прогрессивность многокритериальных альтернатив // Онтология проектирования. 2013. №4. С.53-59.
- [25] **Пиявский С.А.** Оптимизация обобщённых многоцелевых систем // Онтология проектирования. 2015. Т.5. №4(18). С.411-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-411-428.
- [26] **Пиявский С.А.** Как «нумеризовать» понятие «важнее» // Онтология проектирования. 2016. Т.6, №4(22). С.414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [27] **Пиявский С.А.** Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений // Онтология проектирования. 2018. Т.8, №3(29). С.449-468. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [28] **Микони С.В.** Аксиоматика методов многокритериальной оптимизации на конечном множестве альтернатив // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 44. DOI: 10.15622/sp.44.12. С.198-214.
- [29] **Микони С.В.** Моделирование отклонений показателей качества объекта от нормы // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №2(52). DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-2-167-180. С.167-180.
- [30] **Микони С.В., Бураков Д.П.** Обоснование и классификация оценочных функций, применяемых в рейтинговых методах многокритериального выбора // Информатика и автоматизация, Вып. 19 (6), 2020. С.1131-1165. DOI: 10.15622/ia.2020.19.6.1.
- [31] **Ильин В.А., Поздняк Э.Г.** Линейная алгебра. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 280 с.
- [32] **Магарил-Ильяев Г.Г., Тихомиров В.М.** Выпуклый анализ и его приложения. Изд. 2-е, исправл. М.: Едиториал УРСС. 2003. 176 с.
- [33] **Зенкин А.А.** Когнитивная компьютерная графика / ред. Поспелов Д.А. М.: Наука, 1991. 192 с.

- [34] **Mikoni S.V.** Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems // Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674, pp.1-14. DOI: 10.1007/978-3-319-49700-6_48.
- [35] **Микони С.В.** Табличная модель принятия оперативных решений беспилотным летательным аппаратом // Аэрокосмическое приборостроение, 2023, №8. С.3-12. DOI: 10.25791/aviakosmos.8.2023.1353.
- [36] **Микони С.В., Бураков Д.П., Захаров В.В.** Применение новой редакции системы выбора и ранжирования СВБРЬ-М в учебном процессе // ИНФОРИНО-2024. Материалы VII международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования», (16-19.04. 2024, Москва) М: Изд-во МЭИ, 2024. С.44-48.

Сведения об авторах



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 СПИИРАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций 360 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru. ✉

Соколов Борис Владимирович, 1951 г. рождения. Окончил Военно-космическую академию им. А.Ф. Можайского в 1974 г., д.т.н. (1993), профессор (1994), главный научный сотрудник СПб ФИЦ РАН. В списке публикаций более 750 работ, из них 31 монография и учебные пособия в области управления сложными организационно-техническими объектами, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 118026; Author ID (Scopus): 7101767324; Researcher ID (WoS): S-1946-2016; <https://orcid.org/0000-0002-2295-7570>. sokolov_boris@inbox.ru.



Бураков Дмитрий Петрович, 1981 г. рождения. Окончил Петербургский государственный университет путей сообщения в 2003 г., к.т.н. (2008). Индивидуальный исследователь. В списке публикаций 60 работ, из них 4 учебных пособия в области дискретной математики, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 159925; Author ID (Scopus): 57218189157; Researcher ID (WoS): AAE-4602-2022; <https://orcid.org/0000-0001-7488-1689>. burakovdmitry8@gmail.com.

Поступила в редакцию 5.06.2024, после рецензирования 13.07.2024. Принята к публикации 20.07.2024.



SVIR-M, selection and ranking alternatives system: theoretical foundations and practice of application

© 2024, S.V. Mikoni , B.V. Sokolov, D.P. Burakov

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

The article examines upper-level decision-making systems that involve selecting from a finite set of alternatives, known as multidimensional object assessment systems. Examples of such systems are provided. Given the general impossibility of establishing a complete and strict order on a finite set of alternatives using logical methods alone, we offer a theoretical justification for the universality of these systems, which integrate both logical and computational methods for multidimensional evaluation. The work presents the axioms that underpin the development of logical and computational models for multidimensional object assessment. By applying system analysis principles for selecting entities based on multiple indicators from a finite set of alternatives, we establish connections between multidimensional ordering and classification methods, as well as within groups of these methods. These connections are represented in a task tree of the updated SVIR-M selection and ranking system. The principles of this system, consisting of nine programs tailored to specific tasks, are outlined. In the problem setup interface, a task tree of multidimensional object assessment is modeled. SVIR-M's initial data comprises a finite set of objects, each characterized by a set of indicators and requirements. Data preparation involves group preparation using MS Excel and individual preparation through system tools. The multidimensional object assessment model developed within the system can address various problems. Examples of practical applications of the system are provided.

Keywords: indicator, preference, criterion, target value, evaluation function, goal achievement, deviation from the goal, multidimensional assessment, instrumental system.

Citation: Mikoni SV, Sokolov BV, Burakov DP. SVIR-M, selection and ranking alternatives system: theoretical foundations and practice of application [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(3): 440-456. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456.

Financial support: The research was carried out under the budget topic FFZF-2022-0004.

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

List of figures and table

Figure 1 - Type of functions of value a) and utility b)

Figure 2 - Tree of tasks solved in the SVIR-M system

Table 1 - Rules for coding requirements for indicator values

References

- [1] **Saaty TL.** The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation // New York, McGraw-Hill. 1980.
- [2] **Larichev OI.** Verbal analysis of decisions [In Russian]. Moscow: Nauka, 2006. 181 p.
- [3] **Keeney RL, Raiffa H.** Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. New York, Wiley. 1976. 569 p.
- [4] **Neumann JV, Morgenstern O.** Theory of Games and Economic Behavior. Princeton, NJ. Princeton University Press. 1953.
- [5] **Fishburne PS.** Utility theory for decision making [In Russian]. Transl. from English V.N. Vorobyova, A.Ya. Kiruti; Ed. N.N. Vorobyova. Moscow: Nauka, 1978. 352 p.
- [6] **Wierzbicki AP.** The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. In: G. Fandel and T. Gal, Eds., Multiple Criteria Decision Making Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 1980. P.468-486.

- [7] **Podinovsky VV.** Ideas and methods from the theory of criteria importance in multi-criteria decision-making problems [In Russian]. Moscow: Nauka, 2019. 103 p.
- [8] **Velasquez M, Hester PT.** An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*. 2013; 10(2): 56-66.
- [9] **Mikoni SV.** "SVIR" selection and ranking system [In Russian]. Proceedings of the international congress "Artificial Intelligence in the 21st Century". Divnomorskoe 3–8.09.2001. Moscow: Fizmatgiz, 2001; 1: 500-507.
- [10] **Izbachkov SYu, Petrov VN.** Information systems [In Russian]. St. Petersburg: Peter, 2008. 655 p.
- [11] **Sprague R.** A Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*. 1980; 4(4): 1-25. DOI: 10.2307/248957.
- [12] **Ipatova ER, Ipatov YuV.** Methodologies and technologies for system design of information systems: textbook [In Russian]. 2nd ed., revised. Moscow: Flint, 2016. 257 p.
- [13] **Kuritsky BY.** Search for optimal solutions using Excel 7.0 [In Russian]. St. Petersburg: BHV, 1997. 384 p.
- [14] **Jimenez A, Rios-Insua S, Mateos A.** Decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments // *Decision Support Systems* 36. 2003. P.65- 79. DOI: 10.1016/S0167-9236(02)00137-9.
- [15] Information and analytical system "ASSESSMENT and SELECTION" // SOFTEL: One hundred computer programs for business (catalog 1997-98). M.: "Khamtek Publisher". 1997. p.156-165.
- [16] **Krejčí J.** Pairwise Comparison Matrices and their Fuzzy Extension: Multi-criteria Decision Making with a New Fuzzy Approach, in *Series Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 366, Springer, 2018. 273 p. DOI: 10.1007/978-3-319-77715-3.
- [17] **Krejčí J, Stoklasa J.** Aggregation in the Analytic Hierarchy Process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean, *Expert Systems with Applications* 2018; 114: 97-106. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.06.060.
- [18] **Sarkar B, Biswas A.** Pythagorean fuzzy AHP-TOPSIS integrated approach for transportation management through a new distance measure. *Soft Computing*. 2021 Mar; 25(5): 4073-89. DOI: 10.1007/s00500-020-05433-2.
- [19] **Nebro AJ, Ruiz AB, Barba-González C, García-Nieto JM, Luque M, Aldana-Montes JF.** InDM2: Interactive Dynamic Multi-Objective Decision Making using evolutionary algorithms, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2018; 40: 184-195. DOI: 10.1016/j.swevo.2018.02.004.
- [20] **Morente-Molinera JA, Kou G, Samuylov K, Cabrerizo FJ, Herrera-Viedma E.** Using argumentation in expert's debate to analyze multi-criteria group decision making method results. *Information Sciences*. 2021 Sep 1; 573: 433-52. DOI: 10.1016/j.ins.2021.05.086.
- [21] **Huang H, De Smet Y, Macharis C, Doan NA.** Collaborative decision-making in sustainable mobility: identifying possible consensus in the multi-actor multi-criteria analysis based on inverse mixed-integer linear optimization. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2021 Jan 2;28(1): 64-74. DOI: 10.1080/13504509.2020.1795005.
- [22] **Paradowski B, Shekhovtsov A, Bączkiewicz A, Kizielewicz B, Salabun W.** Similarity Analysis of Methods for Objective Determination of Weights in Multi-Criteria Decision Support Systems. *Symmetry*. 2021 Oct;13(10): 1874. DOI: 10.3390/sym13101874.
- [23] **Piyavsky SA.** Two new top-level concepts for the multicriteria optimization ontology [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 1: 65-85.
- [24] **Piyavsky SA.** Progressivity of multicriteria alternatives [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 4: 53-59.
- [25] **Piyavsky SA.** Optimization of generalized multi-purpose systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 411-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-411-428.
- [26] **Piyavsky SA.** How to "number" the concept of "more important" [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(4): 414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [27] **Piyavsky SA.** Method of universal coefficients for the multicriterial decision-making [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 449-468. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [28] **Mikoni SV.** Axiomatics of multicriteria optimization methods on a finite set of alternatives [In Russian]. *Proceedings of SPIIRAS*. 2016; 44: 198-214. DOI:10.15622/sp.44.12.
- [29] **Mikoni SV.** Modeling deviations of object quality indicators from the norm [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(2): 167-180. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-2-167-180.
- [30] **Mikoni SV, Burakov DP.** Justification and classification of evaluation functions used in rating methods of multi-criteria choice [In Russian]. *Computer Science and Automation*, 2020; 19(6): 1131-1165. DOI: 10.15622/ia.2020.19.6.1.
- [31] **Ilyin VA, Pozdnyak EG.** Linear algebra [In Russian]. Moscow: FIZMATLIT, 2005. 280 p.
- [32] **Magaril-Ilyaev GG, Tikhomirov VM.** Convex analysis and its applications [In Russian]. Ed. 2nd, corrected. Moscow: Editorial URSS. 2003. 176 p.
- [33] **Zenkin AA.** Cognitive computer graphics [In Russian]. Ed. D.A. Pospelov. Moscow: Nauka, 1991. P.192.

- [34] **Mikoni SV**. Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems // Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674, p.1-14. DOI: 10.1007/978-3-319-49700-6_48.
 - [35] **Mikoni SV**. Tabular model of making operational decisions by an unmanned aerial vehicle [In Russian]. *Aero-space instrumentation*, 2023; 8: 3-12. DOI: 10.25791/aviakosmos.8.2023.1353.
 - [36] **Mikoni SV, Burakov DP, Zakharov VV**. Application of the new edition of the SVIR-M selection and ranking system in the educational process [In Russian]. INFORINO-2024. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference “Informatization of Engineering Education”, (16-19.04. 2024, Moscow) Moscow: MPEI Publishing House, 2024. p.44-48.
-

About the author

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obratsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994), Leading Researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (1998). He is the author and a co-author of 360 publications, including 2 monographs and 7 textbooks in the field of technical diagnostic, discrete mathematics, system analyses, artificial intelligence, and decision making theory. AuthorID (РИИД): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru. ✉

Boris Vladimirovich Sokolov, (b.1951) graduated from the Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky in 1974, D. Sc. Eng. (1993), Professor (1994), Chief Researcher at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. He is the author and a co-author more than 750 publications, including 31 monographs and textbooks in the field of management of complex organizational and technical objects, system analysis, decision theory, and artificial intelligence. AuthorID (РИИД): 118026; Author ID (Scopus): 7101767324; Researcher ID (WoS): S-1946-2016; <https://orcid.org/0000-0002-2295-7570>. sokolov_boris@inbox.ru.

Dmitry Petrovich Burakov, (b.1981) graduated from Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university in 2003, PhD (2008), an individual researcher. He is the author and a co-author of 60 publications, including 4 textbooks in the field of discrete mathematics, decision theory, and artificial intelligence. AuthorID (РИИД): 159925; Author ID (Scopus): 57218189157; Researcher ID (WoS): AAE-4602-2022; <https://orcid.org/0000-0001-7488-1689>. burakovdmitry8@gmail.com.

Received June 5, 2024, Revised July 13, 2024. Accepted July 20, 2024.
