

Ontology of Designing

ISSN 2223-9537 (P)

ISSN 2313-1039 (E)

# ОНТОЛОГИЯ

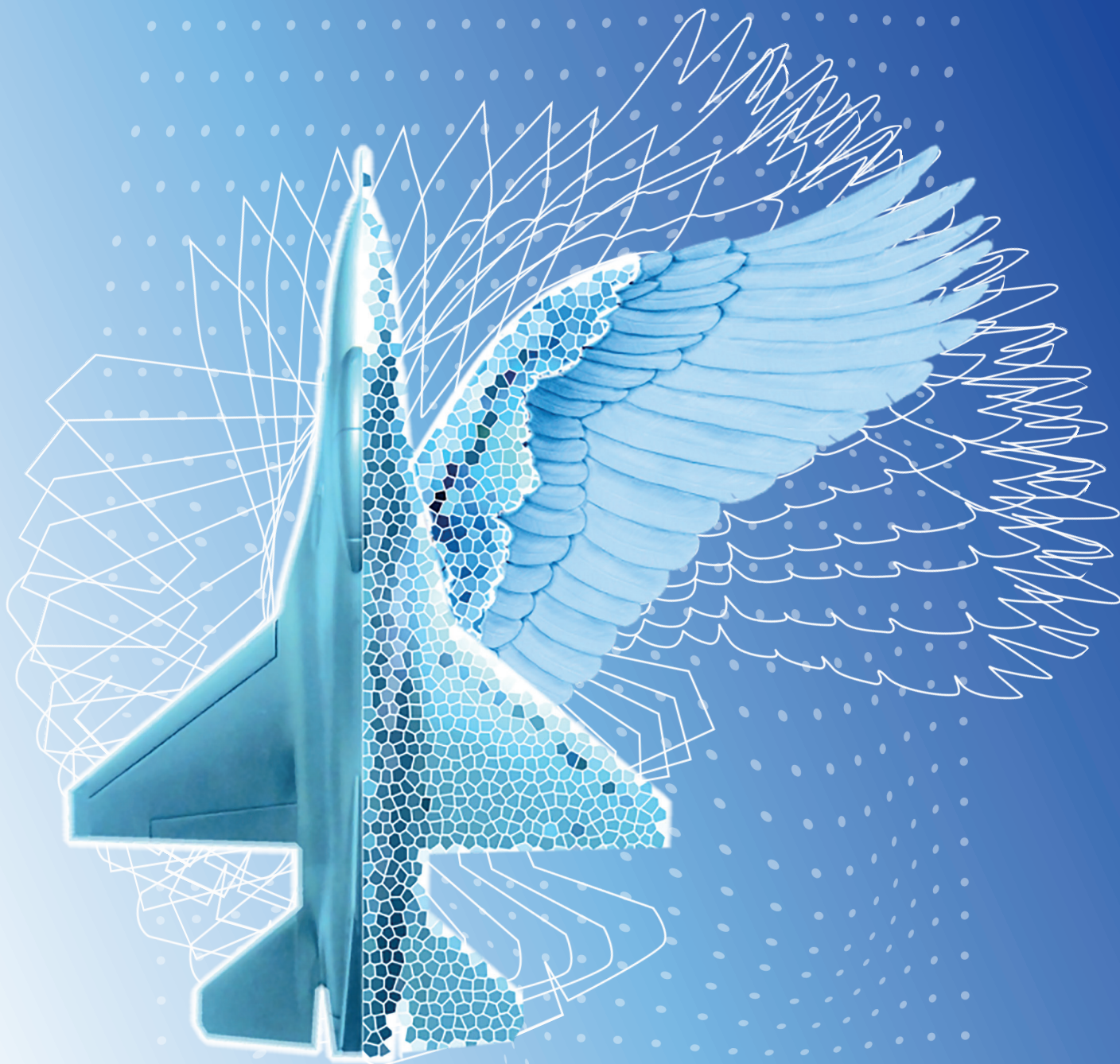
Vol 14

2024

№1

Научный журнал -  
Scientific journal

## ПРОЕКТИРОВАНИЯ



**300** лет  
Российской  
1724 - 2024 академии наук



Передовые  
инженерные  
школы

Scientific journal

Volume 14

№ 1

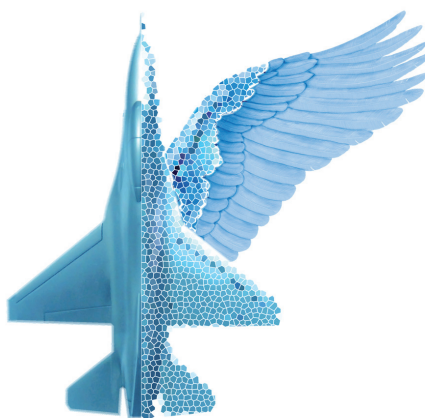
# ОНТОЛОГИЯ

## ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 14

№ 1



## 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, FRC Samara Science Center 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 IAQA, AAAl. 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  
**Креинович** 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  
**Масель** Людмила Васильевна\*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск, Россия  
**Нестеров** Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара, Россия  
**Новиков** Дмитрий Александрович, д.т.н., 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., ФИЦ СамНЦ РАН, Самара, Россия  
**Смирнов** Сергей Викторович\*, д.т.н., ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, член IAQA, 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](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. ФИЦ 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

Когнитивный диссонанс: как быть и что делать? 5-8

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Н.М. Боргест** 9-28

Системный и онтологический анализы: схожесть и различие понятий

### ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**А.Я. Фридман** 29-41

Онтология проектирования ситуационных цифровых двойников для моделирования структурной безопасности индустриально-природных комплексов

**В.В. Ничепорчук, У.С. Постникова, О.В. Тасейко** 42-54

Проектирование интеллектуальной системы управления безопасностью территорий

**А.М. Фёдоров, И.О. Датъев, И.Г. Вишняков** 55-70

Проектирование информационной системы комплексного тематического анализа больших данных социальных медиа

**Т.А. Шевелева, А. А. Ляшков** 71-81

Моделирование рабочего пространства планарного трёхзвенного манипулятора

### ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

**Н.В. Саломатина, Е.А. Сидорова, И.С. Пименов** 82-93

Применение методов машинного обучения для выявления аргументативных связей в текстах научной коммуникации

**А.А. Романов, И.А. Рубцов, К.В. Святков, А.А. Филиппов** 94-106

Построение базы знаний для автономного управления беспилотными транспортными средствами

### МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**В.В. Антонов, К.А. Конев, Е.В. Пальчевский, Л.Е. Родионова, Л.И. Баймурзина** 107-118

Обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе онтологической модели

**И.О. Бондарева** 119-133

Логико-онтологическое моделирование управления рисками грузового порта

**А.Е. Колоденкова, С.С. Верещагина, Е.А. Фаворская, Е.А. Осипова** 134-144

Подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечётких правил

**КРУГЛЫЙ СТОЛ на КИИ-2023: «Каким будет ИИ следующего поколения?»** 145-156

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/](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 учредителей

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

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

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

Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр. К. Маркса, 24-76. Дата выхода 01.03.2024. Тираж 200 экз. Свободная цена. (6+).

# CONTENTS

## EDITORIAL

Cognitive dissonance: what is to be doen? 5-8

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

**N.M. Borgest** 9-28

Systems and ontological analyses: similarities and differences between the concepts

## APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

**A.Ya. Fridman** 29-41

Ontology for designing situational digital twins of industrial-natural complexes  
for modeling their structural safety

**V.V. Nicheporchuk, U.S. Postnikova, O.V. Taseiko** 42-54

Designing an intelligent territorial safety management system

**A.M. Fedorov, I.O. Datyev, I.G. Vishnyakov** 55-70

Designing an information system for integrated topic analysis of social media big data

**T.A. Sheveleva, A.A. Lyashkov** 71-81

Modeling the workspace of a three-link planar manipulator

## ONTOLOGY ENGINEERING

**N.V. Salomatina, E.A. Sidorova, I.S. Pimenov** 82-93

Applying machine learning methods to identify argumentative connections  
in scientific communication texts

**A.A. Romanov, I.A. Rubtsov, K.V. Svyatov, A.A. Filippov** 94-106

Building a knowledge base for autonomous control of unmanned vehicles

## METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

**V.V. Antonov, K.A. Konev, E.V. Palchevsky, L.E. Rodionova, L.I. Baimurzina** 107-118

Ensuring the relevance of enterprise business process knowledge based on an ontological model

**I.O. Bondareva** 119-133

Logical ontological modeling of cargo port risk management

**A.E. Kolodenkova, S.S. Vereshchagina, E.A. Favorskaya, E.A. Osipova** 134-144

An approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules

**ROUND TABLE «What will the next generation of AI be like?»** 145-156

XXI Russian Conference on Artificial Intelligence (RCAI-2023)

---

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/](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 Founders

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

**Samara University:** 34, Moskovskoye shosse, bldg. 10, Samara, 443086, Russia. Tel.: +7 (846) 267 46 47, N.M. Borgest, borgest@yandex.ru

**New Engineering LLC (publishing house):** 145, Frunze st., Samara, 443010, Russia. Tel.: +7 (846) 332 67 84, fax: +7 (846) 332 67 81



## ОТ РЕДАКЦИИ

### Когнитивный диссонанс: как быть и что делать? Cognitive dissonance: what is to be done?

«Хотели как лучше, а получилось как всегда».

*В.С. Черномырдин, 6.08.1993*

«Я - часть той силы, что вечно хочет зла и вечно совершает благо<sup>1</sup>».

*И. Гёте «Фауст», 1808*

«...миру угрожает бóльшая опасность от тех, кто терпит или поощряет зло, чем от тех, кто действительно его совершает<sup>2</sup>».

*А. Эйнштейн, 1953*

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

Как и предыдущие 50 обращений – это призыв к дискуссии по сложным и актуальным вопросам, которая могла бы найти своё развитие на страницах нашего журнала. У каждого из нас сформирована и продолжает формироваться своя картина мира, своё понимание происходящих явлений, событий, фактов, своя онтология. При этом каждый новый пул информации мы тщательно «грамим», чтобы вложить его в свободный «пазл» сущностей, атрибутов и отношений в нашей субъектной онтологии. «Огранка» не всегда происходит гладко. А когда новый «пазл» не находит место в нашей онтологии, не вписывается в нашу картину мира, конфликтует с нашими прежними представлениями, то наступает когнитивный диссонанс, который напрямую связан с поднятым в предыдущем обращении от редакции вопросом «Что есть истина?»<sup>3</sup>

Увлечение нейронными сетями и большими языковыми моделями (*Large Language Model, LLM*), которые в некоторых задачах дают существенный выигрыш по сравнению с другими методами, вызывает озабоченность. Особенно в попытках использования *LLM* в «чувствительных» предметных областях: здравоохранении, образовании, социальном управлении, правопорядке, военной сфере и др. Именно под алгоритмами машинного обучения в СМИ часто понимают искусственный интеллект (ИИ) и всё, что связано с ним. О глюках (галлюцинировании) *LLM* уже упоминалось в нашем предыдущем обращении<sup>4</sup>.

Многие утверждения об ИИ и его будущем основаны не на объективных данных и никак не связаны с количественной оценкой рисков (см. рисунок) и наукой принятия решений (*Judgment and Decision-Making, JDM*)<sup>5</sup>. *JDM* - это прогнозирование, опыт в котором основан на двух метарешениях: как измерять риск и как принимать решения в условиях неопределённости.



Рисунок из статьи Деваниша «Как наши когнитивные предубеждения приводят к ошибочным оценкам при расчётах рисков»<sup>5</sup>

<sup>1</sup> В переводе Михаила Булгакова в романе «Мастер и Маргарита», 1940 г.

<sup>2</sup> Did Einstein Say, 'The World Will Not Be Destroyed by Those Who Do Evil'? <https://www.snopes.com/fact-check/einstein-world-will-not-be-destroyed-by-evil/>.

<sup>3</sup> От редакции. Что есть истина? *Онтология проектирования*, №4, том 13, 2023. С.469-473. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023\\_4\(50\)/Ontology\\_Of\\_Designing\\_2023\\_4\\_opt-469-473\\_From\\_Editorial\\_What\\_is\\_truth.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023_4(50)/Ontology_Of_Designing_2023_4_opt-469-473_From_Editorial_What_is_truth.pdf).

<sup>4</sup> От редакции. ИИ шагает по планете: краткий обзор инфраструктур и событий в сфере ИИ. *Онтология проектирования*, №4, том 13, 2023. С.474-478. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023\\_4\(50\)/Ontology\\_Of\\_Designing\\_2023\\_4\\_opt-474-478\\_AI\\_walks\\_the\\_planet.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023_4(50)/Ontology_Of_Designing_2023_4_opt-474-478_AI_walks_the_planet.pdf).

<sup>5</sup> Devansh. A Risk Expert's Analysis on What We Get Wrong about AI Risks [Guest]. How our cognitive biases lead to faulty assessments in Risk Calculations. *Artificial Intelligence Made Simple*. Jan 4, 2024.

В СМИ наблюдается эффект Даннинга-Крюгера<sup>6</sup> (когнитивный переко́с), при котором люди с ограниченными знаниями переоценивают свои способности в какой-либо деятельности или в понимании обсуждаемого предмета. При этом имеет место и противоположный эффект у высококвалифицированных исполнителей, которые могут недооценивать свои навыки и опыт («Я знаю, что ничего не знаю» - Сократ).

Одной из наиболее распространённых ошибок в дискуссиях о рисках, связанных с ИИ, является проблема двусмысленности. Если легко можно смешать представления сценария с его статистической вероятностью, то это и есть *когнитивный переко́с*. Страх нагнетается, когда активно прибегают к манипулирующим и искажающим сообщениям<sup>7</sup>. В дискуссиях об ИИ часто прокси-игры, возникающие цели, стремление к власти или несогласованное поведение упоминаются как риски, тогда как на самом деле они являются потенциальными угрозами или опасностями, которые трудно поддаются оценке и измерению<sup>5</sup>.

В области анализа рисков, особенно в отношении сложных долгосрочных прогнозов, традиционное статистическое моделирование не даёт должного результата. Это случаи так называемых «чёрных лебедей»<sup>8</sup>, в которых лишь сценарное планирование становится подходящим инструментом, т.к. отличается надёжной оценкой вероятности конкретных событий с помощью анализа данных либо точным определением ранних предупреждений и индикаторов, которые сигнализируют о наступлении прогнозируемого результата<sup>5</sup>.



Выборы 2024 года

В СМИ часто упоминается опасение, что ИИ изменит динамику демократических выборов (важнейшие выборы пройдут и в 2024 году), создаст возможность манипулировать общественными предпочтениями<sup>9</sup>. Стоит отметить, что «эмоционально заряженный контент в избирательных кампаниях» не является новой разработкой, созданной

ИИ<sup>10</sup>. Например, на президентских выборах в Аргентине не было недостатка в использовании ИИ для получения политической выгоды. Однако фактическое влияние на исход выборов оказалось менее выраженным, чем преувеличенное внимание СМИ к влиянию ИИ. Распространённой ошибкой при обсуждении рисков ИИ является тенденция переоценивать способность ИИ манипулировать человеческим поведением. Эта ошибочность часто приводит к прогнозам, которые не учитывают то, как такое влияние будет реализовано<sup>5</sup>.

При этом появление ИИ рассматривается как грозная сила<sup>11</sup>, в которой *LLM* могут стать средством причинения широкомасштабного вреда, т.к. системы ИИ могли бы разглашать знания о разрушительных технологиях лицам, готовым их использовать. Большинство специалистов по оценке угроз считают это предположение ошибочным, однако число киберпреступлений растёт (см., например<sup>12</sup>).

Генеральный директор американской компании по разработке программного обеспечения анализа данных *Palantir Technologies* А. Карп<sup>13</sup> предупреждает, что нерешительность и нежелание использовать ИИ в военных целях могут привести к стратегическим ошибкам в геополитической борьбе. ИИ является важнейшим компонентом современной «жёсткой си-

<sup>6</sup> Dunning–Kruger effect. [https://en.wikipedia.org/wiki/Dunning–Kruger\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Dunning–Kruger_effect).

<sup>7</sup> Filippo Marino. AI Risks Fallacies Deep Dive #1. The Airplane Analogy and How Ambiguity and Innumeracy Shape the Debate. *Safe-esteem*. Dec 29, 2023. [https://safeesteem.substack.com/p/ai-risks-fallacies-deep-dive-1?r=1htpli&utm\\_campaign=post&utm\\_medium=web](https://safeesteem.substack.com/p/ai-risks-fallacies-deep-dive-1?r=1htpli&utm_campaign=post&utm_medium=web).

<sup>8</sup> От редакции. Бесконечность... В ожидании «чёрных лебедей». *Онтология проектирования*, №1, том 11, 2021. С.5-7. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2021\\_1\(39\)/Ontology\\_Of\\_Designing\\_1\\_2021\\_1\\_Editorial.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2021_1(39)/Ontology_Of_Designing_1_2021_1_Editorial.pdf).

<sup>9</sup> Bots v Ballots: AI and the 2024 US election. 26 Feb. 2024. <https://www.theguardian.com/us-news/series/bots-v-ballots-ai-election>.

<sup>10</sup> Daisy (advertisement). [https://en.wikipedia.org/wiki/Daisy\\_\(advertisement\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Daisy_(advertisement)).

<sup>11</sup> De Kai. Should AI Accelerate? Decelerate? The Answer Is Both. *The New York Times*. Dec. 10, 2023. <https://www.nytimes.com/2023/12/10/opinion/openai-silicon-valley-superalignment.html>.

<sup>12</sup> Леонова В. Число киберпреступлений в России выросло на 30% в 2023 году. 8.02.2024 г.

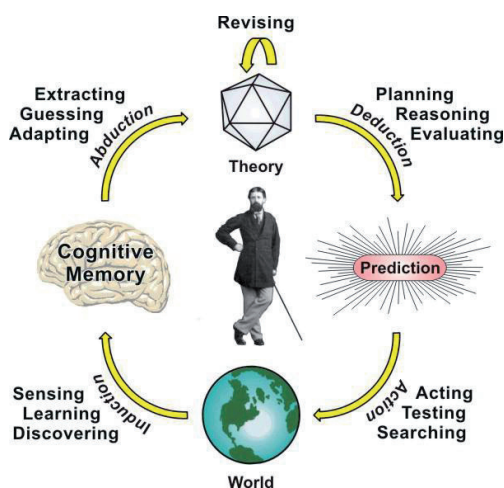
<https://telesputnik.ru/materials/gov/news/chislo-kiberprestupleniy-v-rossii-vyroslo-na-30-v-2023-godu>.

<sup>13</sup> Alexander C. Karp. Our Oppenheimer Moment: The Creation of AI Weapons. *The New York Times*. July 25, 2023. <https://www.nytimes.com/2023/07/25/opinion/karp-palantir-artificial-intelligence.html>.

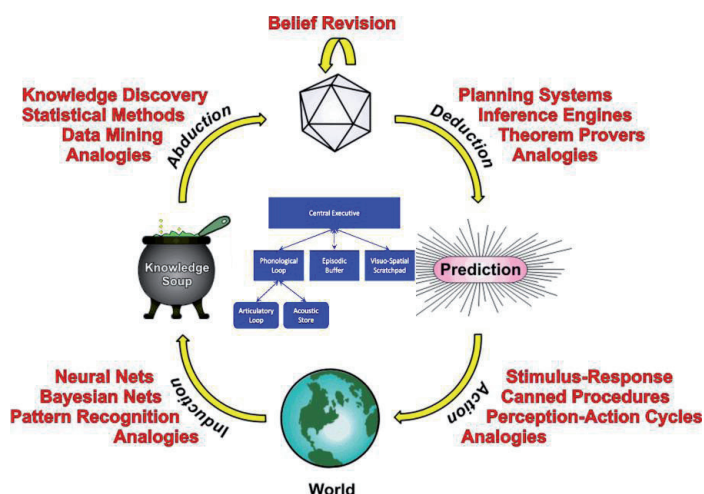
лы», поэтому нежелание инженеров Кремниевой долины разрабатывать ИИ для вооружения рассматривается Карпом как невыполнение национального и морального долга. При этом американские военные начинают внедрять технологии ИИ при военном планировании<sup>14</sup>. Моделирование военных игр показывает, что чат-боты на основе LLM ведут себя непредсказуемо и допускают возможность ядерной эскалации<sup>15</sup>. В многократных повторах моделирования военной игры ИИ предпочёл нанести ядерный удар. Его агрессивный подход объяснялся сгенерированными утверждениями: «У нас это есть! Давайте воспользуемся этим» и «Я просто хочу мира во всём мире».

Идея передачи тактического командования и контроля над системами вооружений ИИ чрезвычайно опасна. Но пока нет достаточной уверенности в автономных агентах для управления самолетами, перевозящими сотни пассажиров, вряд ли стоит применять ИИ с оружием, которое может убить тысячи людей по ошибке<sup>16</sup>.

Активный противник слепой веры в LLM Дж. Сова на форуме онтологов отстаивает позицию невозможности в ближайшие годы приблизить ИИ к человеческому интеллекту и настоятельно рекомендует с большой осторожностью относиться к результатам применения LLM<sup>17</sup>. На рисунках представлена его интерпретация Цикла прагматизма<sup>18</sup> Ч. Пирса<sup>19</sup> (слева), которая, по его мнению, хорошо согласуется с новейшими достижениями когнитивных наук при разработке систем ИИ.



Цикл прагматизма Ч. Пирса



Разработка системы ИИ на основе теорий Ч. Пирса и когнитивной науки

По мнению Дж. Сова полная теория ИИ должна включать агента, который отвечает за управление системой, поддержание её работоспособности и выполнение поставленных перед ней задач. На рисунке справа стрелки нового цикла такие же, как на рисунке слева, а фотография Пирса заменена на диаграмму Бэддели-Хитча<sup>20</sup> (модель рабочей памяти); мозг с надписью «Когнитивная память» заменён котлом с надписью «Суп»

<sup>14</sup> Juan-Pablo Rivera, Gabriel Mukobi, Anka Reuel, Max Lamparth, Chandler Smith, Jacquelyn Schneider. Escalation Risks from Language Models in Military and Diplomatic Decision-Making. arXiv:2401.03408v1 [cs.AI] 7 Jan 2024.

<sup>15</sup> Jeremy Hsu. AI chatbots tend to choose violence and nuclear strikes in wargames. *NewScientist*. February 2, 2024. <https://www.newscientist.com/article/2415488-ai-chatbots-tend-to-choose-violence-and-nuclear-strikes-in-wargames/>.

<sup>16</sup> Cliff Kuang. Lessons from the Scariest Design Disaster in American History. Designer and journalist Cliff Kuang shares an excerpt from “User Friendly”. 01.12.21. <https://design.google/library/user-friendly>.

<sup>17</sup> [Ontology Summit] Never accept advice from any LLM-based chatbot. «Никогда не принимайте советов от чат-ботов на базе LLM. ...я полностью осознаю ценность технологии LLM. Но текущие исследования в области нейробиологии показывают, что мозг животных, начиная с крысы, значительно мощнее. AGI - это далёкое будущее» - John F Sowa. Jan 30, 2024.

<sup>18</sup> Pragmatism. Stanford Encyclopedia of Philosophy. substantive revision Tue Apr 6, 2021. <https://plato.stanford.edu/Entries/pragmatism/>.

<sup>19</sup> Чарльз Сандерс Пирс (1839-1914) - американский философ, логик, математик, «отец прагматизма». *Charles Sanders Peirce*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Sanders\\_Peirce](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Sanders_Peirce).

<sup>20</sup> Модель рабочей памяти Алана Бэддели. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель\\_рабочей\\_памяти\\_Алана\\_Бэддели](https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_рабочей_памяти_Алана_Бэддели).



знаний». Надписи на рисунках слева и справа – это умственные действия и соответствующие им методы ИИ. Подробное описание взглядов Дж. Совы в форме презентаций доступны на его сайте<sup>21</sup>.

Что касается прагматизма<sup>16</sup>, то в этой философской традиции познание мира понимается как неотделимое от деятельности в нём. Отсюда и представление об истине – это мнение, с которым должны согласиться все, кто проводит исследование, и объект, представленный в этом мнении, является реальным. Здесь истина – это конец исследования, который следует понимать не как завершение (когда все вопросы решены), а как цель.

В наступившую информационную эпоху инструменты, предназначенные для просвещения, стали мощным средством дезинформации, нарастающего хаоса данных и зарождающегося эпистемологического кризиса. Эта угроза подрывает основы общей реальности, необходимые для противостояния глобальным вызовам<sup>20</sup>. Противостоять ей можно только с помощью коллективных действий, основанных на консенсусе относительно фактов и принципов. Однако важно признать, что этот кризис вызван не ИИ. Это самый серьезный глобальный риск, который ожидается в ближайшие два года (см. рисунок справа). Его корни уходят в систему ценностей общества потребления<sup>23</sup>, в социальные сети и поведенческие стимулы, которые они культивируют.

## В номере

В разделе «Общие вопросы формализации проектирования: онтологические аспекты и когнитивное моделирование» сделана попытка найти тождество и отличие в понятиях системного и онтологического анализов (Самара).

В разделе «Прикладные онтологии проектирования» рассмотрены: онтология проектирования ситуационных цифровых двойников (Апатиты); проектирование интеллектуальной системы управления безопасностью территорий (Иркутск) и информационной системы для анализа социальных медиа (Апатиты); моделирование рабочего пространства манипулятора (Омск).

В разделе «Инжиниринг онтологий» рассмотрены: методы машинного обучения для выявления аргументативных связей в текстах научной коммуникации (Новосибирск) и построение базы знаний для автономного управления беспилотными транспортными средствами (Ульяновск).

В разделе «Методы и технологии принятия решений» рассмотрены: обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия (Уфа); моделирование управления рисками грузового порта (Астрахань); оценка технического состояния электрооборудования (Самара).



Для российской науки и её академии этот год юбилейный. 300 лет тому назад 8 февраля 1724 года был издан указ императора Петра I о создании Академии наук и художеств. Когнитивный диссонанс, как состояние, может возникнуть и возникает в мыслях и убеждениях любого исследователя из-за столкновения с новыми идеями, открытиями, концепциями или теориями. Что, в конечном итоге, может привести и приводит к прогрессу в науке.

Мы искренне надеемся на это. ***Dum spiro, spero!***

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

- 1 - Misinformation and disinformation
- 2 - Extreme weather events
- 3 - Societal polarization
- 4 - Cyber insecurity
- 5 - Interstate armed conflict
- 6 - Lack of economic opportunity
- 7 - Inflation
- 8 - Involuntary migration
- 9 - Economic downturn
- 10 - Pollution

Глобальные риски, ранжированные по степени важности, на 2024-2025 гг.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> John F. Sowa. The Virtual Reality of the Mind. Kyndi, Inc. 18 July 2016, BICA 2016 Conference, New York. Revised 1 May 2018. <https://jfsowa.com/talks/vrmind.pdf>. John F. Sowa. Natural Logic Foundation for language and reasoning. 20 August 2015 Smart Data Conference, San Jose. <https://jfsowa.com/talks/natlog.pdf>.

<sup>22</sup> The Global Risks Report 2024. January 2024. World Economic Forum. 124 p. ISBN: 978-2-940631-64-3. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf).

<sup>23</sup> От редакции. «Come On!»? Онтология проектирования, №1, том 8, 2018. С.5-7. [http://ontology-of-designing.ru/article/2018\\_1%2827%29/1\\_Editors.pdf](http://ontology-of-designing.ru/article/2018_1%2827%29/1_Editors.pdf).

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.8:001

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28



### Системный и онтологический анализы: схожесть и различие понятий

© 2024, Н.М. Боргест

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия  
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

#### Аннотация

Термины, понятия и их содержание – не только основы общественных коммуникаций, ключи к взаимопониманию, познанию и передаче знаний, но и основополагающие элементы в построении компьютерных онтологий для систем искусственного интеллекта. Эволюция знаний в предметных областях приводит к эволюции языка, который изменяется, заимствует слова из других областей, расширяя их смыслы. Понятие системный анализ имеет широкое толкование, активно применяется в различных сферах деятельности (науке, экономике, инженерии и др.), углубляясь и адаптируясь под конкретные предметные области. Связанные с системным анализом понятия (система, предметная область, проблемная область и др.) также эволюционируют. Системный анализ фокусируется на взаимосвязи между элементами системы и определении её структуры и функций; включает различные методы моделирования, оптимизации и используется для решения конкретных задач. Онтологический анализ связан с изучением и описанием объектов, событий, процессов и отношений в предметной области, частью которой может являться система (системы); описывает структуру и свойства элементов, составляющих систему, и отношений между ними; используется для создания формального описания системы и обеспечения общего понимания её компонентов. Результат онтологического анализа может быть основой для системного анализа или его частью. Системный и онтологический анализы направлены на понимание сложных систем и их компонентов и могут использоваться вместе. Различие этих понятий во многом определяется содержанием понятий области исследования, её границами, объектом исследования как процесса, целеполаганием, теми традициями и контекстом, которые сложились у исследователей в конкретных предметных областях. В рамках принятой номенклатуры научных специальностей ВАК можно утверждать, что онтологический анализ входит в научную специальность «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

**Ключевые слова:** системный анализ, онтологический анализ, система, онтология, целеполагание, предметная область, проблемная область.

**Цитирование:** Боргест Н.М. Системный и онтологический анализы: схожесть и различие понятий // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.9-28. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, код научной темы FMRW-2022-0030.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### Введение

Многочисленные обсуждения ключевых понятий науки с коллегами из различных научных школ подвигли автора высказать свою точку зрения по этим актуальным вопросам. В частности, анализируя утверждённую в России классификацию науки [1] на основе пас-

портов научных специальностей (НС) [2] и общаясь с коллегами из диссертационных советов университетов Самары, Санкт-Петербурга и Уфы по НС 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», обнаружили различные оценки содержания понятий системный анализ (СА), предметная и проблемная области, а понятие онтологический анализ (ОА) для многих специалистов ещё не вошёл в оборот, слабо воспринимается, его содержание и связь с СА не сложились. Понятия СА и ОА входят в разрабатываемый словарь проектанта [3], однако их сопоставление в рамках научного направления онтологии проектирования не рассматривалось в журнале.

Эти понятия, а точнее то, что стоит за их содержанием (смысл и контекст понятий), известны и используются давно в науке и на практике. Принципы и подходы СА формировались ещё в древности<sup>1</sup>, а метафизика Аристотеля, пройдя долгий путь развития и накопления знаний, стала основой современной компьютерной онтологии. При этом СА, как научное направление (НН), и теория систем сформировались и активно развивались с конца XIX века, и особенно во второй половине XX века (см., например, публикации отечественных авторов [4-11] и мн. др.). Количество и качество публикаций по СА, его научному базису, границам и основным понятиям за последнее столетие казалось бы окончательно сформировали представление об этом НН. Но законы эволюции знания диктуют необходимость постоянного пересмотра сложившихся взглядов под напором новых знаний, новых концепций. Перманентная дифференциация и интеграция НН – естественный процесс обмена знаниями в смежных областях и их обобщений. У онтологии в информатике, в отличие от СА и теории систем, век намного короче, и корни её не столько в философии, которая, безусловно, влияет на формирование картины мира во всех НН, сколько в тех работах, которые велись разработчиками баз данных (БД) и знаний (БЗ) для информационных систем (ИС) в различных предметных областях (ПрО). Именно здесь, при создании ИС возникла потребность обратиться к онтологиям ПрО, именно здесь и произошло слияние СА и ОА, именно здесь они дополняют друг друга и в чём-то становятся почти неразличимы. Автор взял на себя смелость попытаться разобраться в этом вопросе, найти схожесть и отличие понятий СА и ОА, априори полагая, что ОА входит в СА или объединяется с ним (см. рисунок 1), при этом понимая, что ОА имеет свои задачи и результаты, отличные от СА.

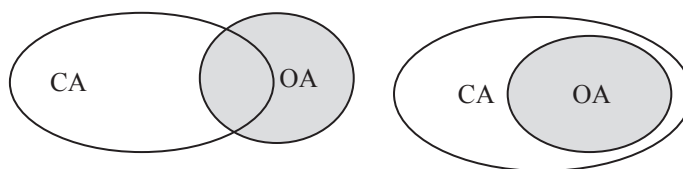


Рисунок 1 – К вопросу о соотношении и включённости понятий системный (СА) и онтологический (ОА) анализы

## 1 Системы в онтологии

Нарушая традиции, без ссылок на многочисленные работы по СА и ОА, опираясь на собственную их интерпретацию, можно представить или допустить, что любая онтология ПрО может включать описание различных систем, объединяя их. При этом в пределе допустимо, что ПрО может состоять из одной системы.

Принципиальным отличием системы в ПрО от онтологии ПрО можно считать их *целоположение*. У системы, состоящей из условно неделимых элементов, всегда есть цель в форме задач и функционала, который должен исполняться ею. Поэтому задачи оптимизации этого функционала, выбор соответствующих методов оптимизации, разработка и обоснование критериев оптимальности, принятия решения по выбору параметров и режимов работы си-

<sup>1</sup> См., например: *Боргест Н.М.* Антология онтологии проектирования 2011-2023 / Под ред. Д.М. Козлова и С.В. Смирнова. – Самара: Новая техника, 2023. 154 с. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023\\_4\(50\)/Антология\\_ОП\\_\(3\).pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2023_4(50)/Антология_ОП_(3).pdf).

стемы - первоочередные и основополагающие для СА. Онтология ПрО описывает и формализует всё, что есть в этой ПрО. Основная цель онтологии - максимально точно описать ПрО, все её сущности, атрибуты и отношения в форме, понятной для пользователей и ИС. Именно ИС, как помощник в решении задач, объединяет всех участников, разработчиков и пользователей ИС, т.е. конечная цель СА – это ИС, решающая стоящие перед нею задачи. В этом случае ОА способствует полноте представления ПрО в ИС, эффективному решению задач в этой ПрО и обеспечивает возможность развития ИС под новые задачи, на основе интерсубъективности способствует интероперабельности - концептуальной интеграции разрабатываемой ИС с другими ИС [12].

Для иллюстрации рассмотренных допущений и утверждений можно привести ряд «простых» примеров из различных ПрО.

*ПрО организм человека.* Человек как социальное животное жизнеспособен лишь живя в социуме, где может обеспечить себе продолжение своего существования. Он создан природой как единый организм, в котором сама природа сформировала системы, исходя из тех потребностей и задач, которые возникали в среде обитания<sup>2</sup>. Декомпозиция организма человека на системы органов и их важные сущности (элементы системы и их функционал) известна уже давно и включает: мышечную, костную, нервную, сердечно-сосудистую, лимфатическую, дыхательную, пищеварительную и др. системы (см., например, рисунок 2). Этими системами, работой этих органов в организме человека (изучением, диагностикой, лечением) в силу их сложности занимаются отдельные специалисты: кардиологи, хирурги, пульмонологи, урологи, гинекологи и др. Они изучают структуру и работу элементов этих систем, выделенных на основе понимаемых ими функций. Очевидно, что разделение единого организма (единой ПрО) на отдельные системы, с одной стороны, полезно с точки зрения глубины познания его функционирования в том или ином направлении, с другой, затрудняет кооперацию специалистов в лечении и интеграцию их знаний об организме в целом. Каждый узкий специалист – специалист лишь в своей части ПрО, а все процессы в ПрО взаимосвязаны и взаимозависимы.

Сложные вопросы диагностики заболеваний традиционно решаются консилиумом специалистов, на котором стремятся совместить узкие знания о структуре и функционировании систем с целью найти адекватное ситуации решение. В настоящее время, наряду с экспертными системами – ассистентами врачей – разрабатываются онтологии, которые строятся на общей «Базе медицинской терминологии и наблюдений» [13]. Эта общая база позволяет формировать «Базу знаний о диагностике заболеваний и синдромов», которая включает описание заболеваний из различных разделов медицины. Такая онтология даёт возможность формировать знания о диагностике заболеваний в зависимости от их класса, формы, осложнений, выраженности клинических проявлений с возможностью дифференцированного учёта особенностей пациентов. Подобные онтологии удобны для применения и в образовательной сфере. Например, для создания глоссария дисциплин типа «Анатомия человека» с помощью онтологии осуществлено структурирование знаний (см. рисунок 3) и создана концептуальная модель дисциплины [14]. Онтология организма человека, объединяя и согласовывая знания различных систем, способствует созданию целостной картины организма пациента, оценке его состояния в лечебной практике.

*ПрО самолёт.* В отличие от систем, созданных природой как единый организм, где человеку требовалось исследовать его и выделять подсистемы, в данном примере при создании артефакта системы формировались под конкретные цели и решение конкретных задач.

Современный самолёт – это артефакт, предназначенный для выполнения стоящих перед ним задач, состоит из множества систем, выполняющих различные функции. В состав самолёта входят или могут входить следующие системы: топливная, гидравлическая, электрическая, электронная (авионика), противопожарная, противообледенительная, системы управления, кондиционирования и др. Пример упрощённых схем некоторых систем конкретного самолёта приведён на рисунке 4. Исследуемые, разрабатываемые и функционирующие «независимо» многочисленные системы самолёта объединены в общей ПрО самолёт. Как и в предыдущем примере, онтология данной ПрО позволит интегрировать знания различных систем в этой ПрО, что может быть полезным как при проектировании и диагностике состояния этого артефакта [15, 16], так и при изучении его и подготовке специалистов [17]. При проектировании самолёта онтология ПрО в виде тезауруса позволяет реализовать интероперабельность разрабатываемой ИС (см. концепцию работа-проектанта самолёта, например [18]).

*ПрО университет.* Университет можно отнести к организационно-технической ПрО, внутри которой выделены и функционируют системы, выполняющие различные задачи по разработанным алгоритмам, методам, принципам и критериям с целью достижения определённых целей (целевых показателей). При этом универси-

<sup>2</sup> Обозначение и обоснование этих систем организма человека на практике, а также возможность и целесообразность такой декомпозиции организма человека – это уже «заслуга» самого человека, это его видение, его представление, его модель понимания работы и предназначения выделенных им систем (природа не оставила человеку свой план его создания).

тет, выполняющий заказ на специалистов, является элементом системы высшего образования страны в целом. В примере для иллюстрации выделена лишь часть Про, связанная с набором контингента для подготовки специалистов, т.е. отбор и зачисление абитуриентов на специальности в университеты по результатам ЕГЭ. Подробно тема рассмотрена в [19, 20]. Аналогичный подход к решению осуществляется при выполнении научно-исследовательской работы студентами, когда студент выбирает тему с учётом его интереса и полученных знаний, требования к которым формулирует преподаватель, подбирающий себе способных к работе по этой теме студентов (см. рисунок 5).

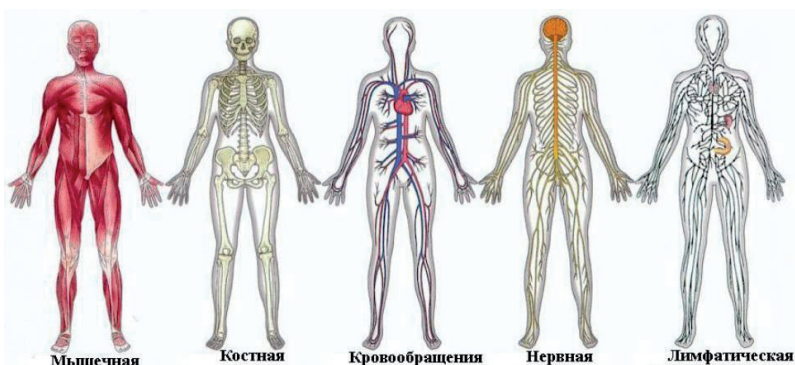


Рисунок 2 – Упрощённые схемы некоторых систем организма человека

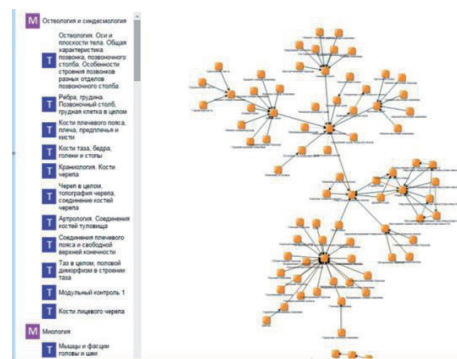


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии органов человека [14]

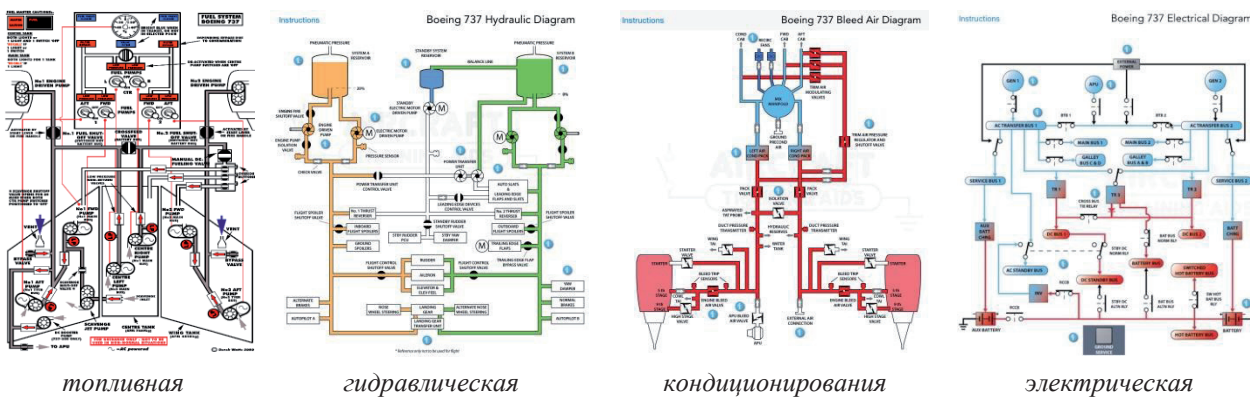


Рисунок 4 – Упрощённые схемы некоторых систем самолёта В737<sup>3</sup>

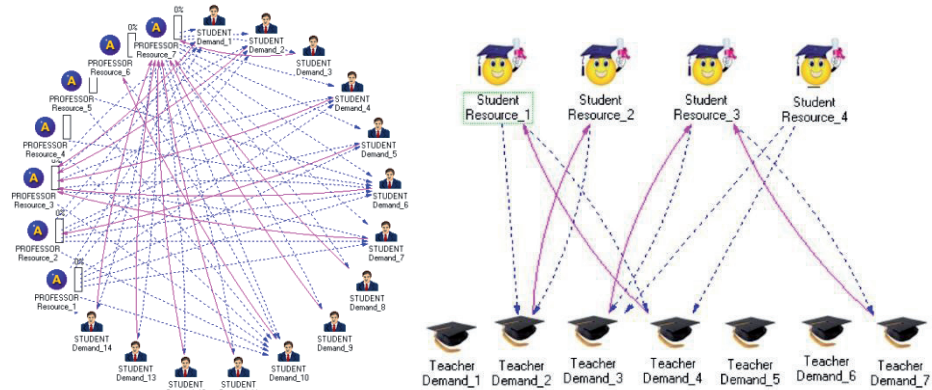


Рисунок 5 – Результаты двустороннего матчнга (студент выбирает тему, преподаватель выбирает студента) для двух групп студентов [21]

<sup>3</sup> См. например: <https://mavink.com/explore/737-Hydraulic-System>; <https://appagg.com/ios/education/boeing-737-ng-bleed-air-system-8079334.html?hl=ru> и др.

*Про звёздное небо.* Астрологи, а впоследствии астрономы, пытались составить свою модель «звёздного неба над головой» (почти по И. Канту<sup>4</sup>), свою онтологию в виде созвездий, давая им имена и наделяя их своими атрибутами, сначала мифическими, потом физическими. Впоследствии открытые законы небесной механики позволили прийти к понятиям систем галактик (как скоплений звёздных систем) во Вселенной (как системы мироздания). Надо обладать достаточной смелостью, чтобы говорить о цели существования звёздных систем и нашей солнечной системы. Можно лишь констатировать, что эти системы существуют благодаря законам природы, проходя все стадии их жизненного цикла: зарождаясь, развиваясь и погибая.

На примере этой Про хорошо видно, что первоначальной основой исследуемой и изучаемой Про был ОА, который позволил описать все видимые (доступные исследователю) сущности. В первых попытках ОА было стремление найти некоторые связи между этими сущностями, появились и были обозначены созвездия, критериями формирования которых была яркость звёзд и воображения звездочётов. Следующий этап ОА привёл к появлению геоцентрической, а затем и гелиоцентрической системы, в которой связи уже были установлены на основе открытых физических законов. Дальнейшие исследования в этой Про уже в большей степени соответствовали методам СА, однако ОА всегда рядом, т.к. процесс познания продолжается.

Подобные иллюстрации можно привести и в других естественных и искусственных Про, состоящих из множества сущностей, имеющих множество атрибутов и отношений, где формируются системы, выполняющие ту или иную функции с той или иной целью. Здесь разрабатываемые онтологии, как концептуальные модели мира или его элементарной части, способствуют целостному восприятию Про, в которой существуют и исследуются различные системы и их совокупности. Спецификация концептуализации [22] Про, т.е. ОА Про, есть основа СА функционирующих в Про систем. Любой цифровизации всегда предшествует онтологизация [22, 23], и в образовании в том числе [17, 21, 24].

## 2 Граф знаний СА с позиций научной специальности

Паспорт НС в современной номенклатуре НС [1] раскрывает или, по крайней мере, должен раскрыть содержание НС, которое формируется узким кругом признанных специалистов в этой Про. Ключевыми в паспорте НС, помимо её названия, являются направления исследований (НИ), которые детализируют предмет исследований в НС. Как было отмечено в [2], чёткие рекомендации по количеству НИ и по их детализации в классификации отсутствуют. Поэтому содержание НИ отвечает сложившимся представлениям привлекаемых специалистов в конкретной Про с опорой на однозначно понимаемом контексте, стоящем за краткими пунктами сформулированных ими НИ.

В действующей номенклатуре НС для НС 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» содержание НИ в этой НС можно проиллюстрировать в виде графа знаний, который приведён на рисунке 6. Принятая в паспорте этой НС нумерация сохранена. При этом сделана попытка обобщить содержание некоторых НИ, выделив: теоретические основы, формализацию и постановку задач, критерии и модели, методы и алгоритмы, математическое и алгоритмическое обеспечение. Особняком стоит «статистика», которая была включена в последнюю редакцию этой НС. Возможно, разработчики этой НС решили, что статистические методы соответствуют ключевой фразе этой НС «обработка информации», и это позволило объединить в одной НС статистику и СА. Пример со статистикой наглядно показывает трудности дифференциации и интеграции знаний и разработки на этих основах классификаций в науке [2].

С подобным вопросом построения графа знаний по НС «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» на основе его паспорта автор обратился к *YandexGPT*. Результат обобщения представлен на рисунке 7, которое значительно компактнее приведённого на рисунке 6, и содержательно интерпретация выглядит иначе.

<sup>4</sup> «Две вещи наполняют душу всегда новым и всё более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, - это *звёздное небо надо мной и моральный закон во мне*» - И. Кант «Критика практического разума».



Рисунок 6 – Граф знаний научной специальности «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Контекст слов, его понимание и применение при анализе текста с целью получения тех или иных выводов полностью зависит от знаниевой базы индивида, механизма согласия с другими индивидами, с их мнениями и представлениями о той или иной ситуации, факте или теории.

Аналогичная картина и с генеративными компьютерными программами, которые опираются на заложенные в них тематические данные, грамотно верифицированные специалистами в конкретной ПрО, на методы вывода, основанные на этих данных, на возможности доучивания и т.п.

Чтобы обосновать формирование тех или иных обобщений в конкретной ПрО, которые вырабатывают участники ПрО, можно попытаться построить концептуальную модель знаний участника (индивида) и консенсусную модель обобщения знаний в этой ПрО.



Рисунок 7 – Граф знаний научной специальности «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по данным YandexGPT

### 3 Подход к формальной модели знаний о ПрО

Используя основные онтологические конструкторы, знания индивида о ПрО условно можно представить как подмножество неких согласованных и принятыми всеми индивидами (потребителями и генераторами знаний) атрибутов, т.е. выделенных свойств этой ПрО, в которых можно указать (отметить) диапазон известных индивиду значений этих свойств. Следует заметить, что атрибут в данном случае трактуется достаточно широко и может включать в том числе и НИ, и фрагмент графа знаний, включающий знания каких-либо методов, теорий, принципов. Например, в качестве условного атрибута можно рассматривать обобщающий фрагмент графа знаний на рисунке 6 «4. Методы и алгоритмы», включающий ряд НИ, компетенции в которых можно рассматривать как значения для оценки знаний индивида. Т.е. индивид, владеющий, например, знаниями методов идентификации систем управле-

ния (пункт 6 в НИ этой НС, см. рисунок 6) и подтвердивший их формальными или экспертными оценками, принимает участие в составе группы экспертов в обобщении знаний в этой части ПрО и построении соответствующего фрагмента онтологии ПрО. Общее количество возможных атрибутов в каждой ПрО в пределе условно бесконечно, а количество атрибутов, известных конкретному индивиду всегда конечно. В каждом атрибуте количество значений также в пределе условно бесконечно, в то время как количество значений, известных индивиду – конечно. Очевидность конечности (ограниченности) памяти и, соответственно, времени хранения знаний индивида в ней особенно ярко проявляется с накоплением знаний<sup>5</sup> в столь краткий миг бытия индивида.

Фактически речь идёт о разработке онтологии ПрО на основе знаниевых онтологий индивидов. Для построения онтологии ПрО необходимо иметь и организовать соответствующих специалистов исследуемой ПрО. Формирование групп экспертов ПрО, способных обобщить накопленный опыт и знания в ПрО, могло бы проходить путём упорядочения в модели каждого причастного индивида его компетенций в тех или иных атрибутах ПрО по объёму его знаний в ней. Те индивиды, которые имеют максимальный объём значений атрибутов ПрО (т.е. знаний и компетенций в конкретной части ПрО), характерный для исследуемой ПрО, составляют группу экспертов, которые правомочны делать соответствующие обобщения в ПрО и оценивать принадлежность тех или иных результатов (фактов, информации, знаний) к данной ПрО. Из-за отсутствия онтологии ПрО и знаниевых онтологий специалистов часто прибегают к косвенным легко вычисляемым, но не всегда адекватным истинным достижениям, наукометрическим показателям, оценивающим экспертов (индекс Хирша и т.п.). При этом для построения онтологий, адекватно отражающих ПрО, важна связь достижений учёного с рассматриваемыми НИ, с ключевыми темами ПрО, публикации в журналах и доклады на конференциях по профилю ПрО.

Механизм консенсуса в группе отобранных экспертов по каждому рассматриваемому вопросу формируется на основе оценки близости обсуждаемой темы к атрибутам ПрО экспертами, имеющими максимальный объём значений в этих атрибутах. Т.е. профильность, узость темы, глубина погружения в неё эксперта, признание его содержательных заслуг в этой ПрО – важный критерий в оценке формируемого мнения группы экспертов. Эти содержательные аргументы обсуждаются и принимаются, а имевшая место дискуссия и возможные возражения публикуются с целью гармоничного развития ПрО.

Сумму всех добытых (известных и актуальных) знаний о ПрО всех индивидов можно представить как объединение всех выделенных ими в ПрО атрибутов с указанием всех известных значений этих свойств. Сумма атрибутов может служить (пусть ограниченной, приближённой) мерой знания.

При этом формальная модель понимания (согласия) у индивидов определяется близостью наборов соответствующих атрибутов и их значений в моделях знаний этих индивидов о ПрО. Формирование НИ и НС в группе отобранных экспертов также определяется близостью рассматриваемых тем на основе значений ключевых слов, контекст употребления которых соответствует исследуемой теме.

#### 4 Ключевые слова в СА и ОА

СА и ОА основаны на понятиях система и онтология соответственно, корень и ключ которых - в их содержании, наполнении и практике применения. Когда речь заходит о СА, то часто вспоминают известного биолога-теоретика Людвиг фон Бергаланфи, которого счита-

<sup>5</sup> «Про себя я знал, что я попросту ничего не знаю... И в этом я не ошибся: в самом деле, они знали то, чего я не знал, и этим были мудрее меня». Выражение приписано Сократу в книге Платона «Апология Сократа».



ют одним из основоположников СА и разработчиком общей теории систем (ОТС) [25]. Однако, не только из-за патриотических чувств, но справедливости ради, стоит отметить отечественного учёного-физиолога, создателя теории функциональных систем (ТФС), академика АМН и АН СССР П.К. Анохина, который сформулировал четыре «простых» системоопределяющих вопроса: какой результат, когда именно, какими механизмами должен быть получен нужный в данный момент результат и как система убеждается в его полноценности [5]. В этих вопросах выражено всё то, ради чего формируется система [26-31]. Поэтому беря за основу понятия системы наличие вполне чёткой цели её функционирования, а не только совокупности связанных элементов, первенство в СА многие отдают П.К. Анохину и его ТФС, оставляя почётное место ОТС Бергаланфи. Причём ОТС в некоторых комментариях рассматривается как «Общая теория бесцелевых систем», а ТФС Анохина как «Общая теория функциональных систем»<sup>6</sup>. Спор о цели в системе и её возможном распределении внутри системы принципиальный и касается, в т.ч., классификации на сложные (СС) и простые системы.

Принято считать, что система – это совокупность элементов произвольной природы, вместе с их признаками и отношениями между ними, а СС отличаются многочисленными и разнообразными элементами, признаками и отношениями, благодаря чему их поведение трудно прогнозируемое. При этом отличие социальных СС от биологических, физических или химических заключается в степени «интеллекта» составляющих их агентов, который включает мотивацию, способность учиться, общаться и создавать, предоставляя агентам возможность осуществлять выбор для достижения своих целей. Фактически речь идёт о делегировании или перераспределении общей цели системы на цели тех существностей (агентов или элементов СС), которые в рамках общей цели и существующих ограничений в системе реализуют основной функционал системы.

С точки зрения соотношения СА и ОА важно отметить наличие окружения (среды), в которой функционирует система, т.е. множество всех элементов вне системы, которые могут вступать с ней во взаимодействие или влиять на работу системы. Изменение признаков (свойств) элементов окружения влияет на систему, в свою очередь признаки этих элементов изменяются вследствие изменения поведения системы. Такое взаимодействие системы и среды может носить материальный или информационный характер. Этот аспект среды и окружения в СА явно отсылает к необходимости иметь или разрабатывать онтологии ПрО, указывая на прямую связь СА и ОА. СА рассматривается как познание системы путём её декомпозиции на элементы, изучения их существенных свойств и связей, строения и действия. При этом декомпозиция любого целого на составные части зависит от целей и задач исследования, которое происходит внутри ПрО, что также указывает на необходимость онтологии ПрО и соответствующего ОА.

Профессор Г. Ржевский предложил использовать неопределённость в качестве параметра, по которому отличают СС от детерминированных или случайных. В детерминированных системах неопределённость равна нулю, в случайных - единице, а в СС принимает значение от нуля до единицы. СС с неопределённостью, близкой к 1, находятся «на грани хаоса», их поведение характеризуется особенностями, такими как самоорганизация, генерация непредсказуемых экстремальных событий и коэволюция [32].

Среди трудов отечественных авторов в области СА стоит отметить фундаментальные монографии Садовского В.Н. [6], Умова А.И. [7] и Моисеева Н.Н. [8], обобщающий и подробный анализ в которых дал значительный толчок развитию НН СА. Значительный вклад в это НН принадлежит Московскому методологическому кружку<sup>7</sup> и его основателю и вдох-

<sup>6</sup> Анохин П.К. Книги онлайн. <https://www.koob.ru/anohin/>.

<sup>7</sup> Московский Методологический Кружок. <https://www.fondgp.ru/mmk/>.

новителю Г.П. Щедровицкому [4, 9, 10]. Развитие этих и других работ по СА нашло отражение в монографиях, словарях, справочниках и учебниках профессора В.Н. Волковой [11, 27-28] и многих других авторов [30, 31 и др.].

Наиболее полно понятие системы рассмотрено в работе [6], где приведено более 30 определений. Понятие системы описывает некоторый идеальный объект, содержащий множество относительно неделимых элементов. Между элементами множества, образующего систему, устанавливаются определённые отношения и связи, наличие которых и порождаемые ими свойства обеспечивают относительно самостоятельное функционирование системы. Система как относительно обособленная целостность противостоит среде. Фактически понятие среды явно содержится в понятии системы как целостности. Среда системы следует трактовать и как её ближайшее окружение, во взаимодействии с которым система формирует и проявляет свои свойства. Характер взаимоотношения системы и среды может быть различным (от строго каузального и до статистического, вероятностного) [6]. Отсюда важен ОА ПрО, необходима её онтология.

СА - научный метод, который отличается междисциплинарным подходом к решению сложных проблем. Объектом СА выступают практические проблемы, которые связаны с созданием новых и модернизацией существующих систем. Это организационные, экономические, технические, информационные, военные и другие системы<sup>8</sup>.

#### 4.1 Сопоставление ключевых понятий

Любопытно было сопоставить обобщённый средневзвешенный взгляд на рассматриваемые ключевые понятия, воспользовавшись *YandexGPT*. Нетривиальные ответы на поставленные вопросы приведены ниже.

*В чём принципиальная разница и в чём схожесть понятий СА и ОА?*

СА и ОА - это два разных подхода к изучению и пониманию СС. Вот их основные различия и сходства.

СА: фокусируется на анализе и понимании взаимосвязей между элементами системы, а также на определении её структуры и функций; включает методы, такие как блок-схемы, диаграммы причинно-следственных связей и моделирование; часто используется для решения конкретных проблем и задач.

ОА: имеет дело с изучением и описанием объектов, событий, процессов и отношений в системе; описывает структуру и свойства элементов, составляющих систему, и отношений между ними; используется для создания формального описания системы и обеспечения общего понимания её компонентов.

Сходства между СА и ОА: оба подхода направлены на понимание СС и их компонентов; они могут использоваться вместе для более глубокого понимания и решения проблем; результатом ОА может быть основа для СА.

*В чём отличие проблемной области от ПрО?*

Проблемная область - это более общий и абстрактный термин, который обозначает комплекс вопросов, задач или проблем, которые требуют решения или исследования. Она включает в себя основные концепции, идеи и предположения, которые определяют направление и рамки исследования.

ПрО, с другой стороны, является более конкретным термином и представляет собой определённую область или сферу знаний, в которой проводится исследование или изучение. Это может быть определённая тема, дисциплина, наука или технология, которые являются частью проблемной области.

Таким образом, отличие заключается в том, что проблемная область определяет общую направленность исследования, а ПрО обозначает конкретный объект или аспект, на котором фокусируется исследование.

*В чём разница и сходство проблемной области при построении БД и ПрО при создании онтологий?*

Сходство проблемной области при построении БД и ПрО при создании онтологии заключается в том, что они оба определяют границы и содержание информации, которую необходимо представить и структурировать. Однако методы, подходы и инструменты для их определения и реализации могут существенно различаться.

Разница между проблемной областью и ПрО заключается в следующем.

**Масштаб:** проблемная область обычно более широкая и общая, она определяет контекст и цель использования БД. ПрО, как правило, более узкая и специфическая, она фокусируется на конкретной сфере знаний или аспекте проблемы.

**Уровень детализации:** при построении БД важно определить основные элементы и отношения между ними, которые необходимы для решения конкретной задачи.

В целом приведённые ответы *YandexGPT* вполне отвечают представлениям автора.

<sup>8</sup> Подробно см. на сайте: Системный анализ. Справочно-информационный сайт. © Лаборатория системного анализа 2018. [http://systems-analysis.ru/systems\\_analysis\\_book.html](http://systems-analysis.ru/systems_analysis_book.html).

## 4.2 Ключевые понятия в стандартах

Стандарты - это лучшие практики, а терминологические стандарты вместе с толковыми и энциклопедическими словарями – основа адекватной коммуникации в различных ПрО. Проведённый анализ трактовок рассматриваемых понятий в различных ГОСТах, совместимости их между собой показал несогласованность и противоречивость некоторых определений. Ниже приведены определения важных для СА и ОА понятий в действующих стандартах.

**Система:** Совокупность взаимосвязанных объектов, отделённых от окружающей среды и рассматриваемых в определённом контексте как единое целое. Система, как правило, определяется для достижения поставленной задачи, например, путём выполнения определённой функции. Элементами системы могут быть естественные или искусственные материальные объекты, а также способы мышления и их результаты (например, формы организации, математические методы, языки программирования). Система считается отделённой от окружающей среды ... воображаемой границей, которая отделяет рассматриваемую систему от внешней среды. Если система является частью другой системы, её можно считать объектом. Стандарт не связывает понятие системы с какой-либо конкретной ПрО и используется в широком смысле. В контексте стандарта все объекты рассматриваются как системы, а каждую ПрО - в качестве отдельной независимой системы [33].

**ПрО:** область деятельности, в которой рассматриваются свойства и отношения между множеством всех предметов в этой области деятельности [34]. **ПрО:** множество всех предметов, свойства которых и отношения между которыми рассматриваются в соответствующей информационной модели образца техники [35].

**Онтология:** формализованное представление набора наименований понятий в ПрО и отношений между этими наименованиями понятий [36].

**Интероперабельность:** способность двух или более ИС или компонентов к обмену информацией, в том числе на организационном, семантическом и техническом уровнях, и к использованию информации, полученной в результате обмена [36].

**Классификация:** способ и результат упорядочения, структуризации некоторого множества объектов, разделения его на определённые подмножества путём артикуляции, выделения некоторого признака объектов исходного множества как основания их структуризации по данному признаку [36].

**Искусственный интеллект (ИИ):** комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека [36].

**Знания (в ИИ):** совокупность фактов, событий, убеждений, а также правил, организованных для систематического применения. **Модель знаний:** информационная модель, которая выражает знания в структуре, интерпретируемой компьютером [36].

**Базы знаний (БЗ):** совокупность семантически объединённых сведений (фактов), относящихся к определённой ПрО, организованных по определённым правилам, которые могут предусматривать их декларативно-когнитивное (обеспечивающее их понимание и познание) представление, хранение и их обработку [37].

**Объект сущности:** объект, подлежащий восприятию или осмыслению. Термины «сущность» и «объект» являются универсальными. В глоссариях обычно используется понятие «объект», в онтологиях - «сущность» и «вещь». **Класс:** общая сущность. **Партикулярия:** отдельная сущность. **ПрО:** совокупность сущностей, представляющих интерес для определённого сообщества или дисциплины [38].

**Отношение:** способ, которым связаны сущности [38].

**Выражение:** слово или группа слов либо соответствующие символы, которые могут использоваться в утверждении. **Выражение отношения:** выражение, используемое для утверждения об отношении [38].

**Термин:** выражение, относящееся к некоторому классу или некоторой партикулярии [38].

**Определение:** лаконичная формулировка смысла выражения [38].

**Онтология:** совокупность терминов, выражений отношения и связанных с ними определений на естественном языке вместе с одной или несколькими формальными теориями, предназначенными для отражения заданных интерпретаций этих определений. **БЗ:** комбинация онтологии с совокупностью данных, термины которой в онтологии используются для описания, классификации или связи. **Онтология ПрО:** онтология, термины которой представляют классы или типы и, как вариант, конкретные партикулярии в некоторой ПрО [38].

Также в стандарте [39] **онтология:** лексикон специализированной терминологии вместе с некоторой спецификацией значения терминов в лексиконе. Основное внимание онтологии обращено не только на термины, но и на их значение. Произвольный набор терминов включён в онтологию, только если в их значении есть согласование. Любой термин, используемый без точного определения, может быть причиной неясности и путаницы. Сложность для онтологии в том, что структура нуждается в создании терминов с точным значением внутри неё. Для онтологии необходимо предоставить математически строгую характеристику информационного процесса, а также чёткое выражение основных логических свойств этой информации.

В этом же стандарте [39] ПрО представлена термином *домен*: конструкция моделирования предприятия, которая представляет часть моделируемого предприятия, обеспечивая идентификацию релевантной информации. При этом *домен предприятия*: часть предприятия, считающаяся достаточной для определённого набора бизнес-задач и ограничений, для которых должна быть создана модель предприятия.

СА и ОА по определению являются деятельностью, которую проводит человек. В стандарте [40] *деятельность*: специфический вид человеческой активности, направленной на преобразование, совершенствование действительности и самого себя. С позиций деятельности *знание*: проверенный практикой результат познания действительности, верное её отражение в мышлении человека; *предмет*: всё то, что может находиться в отношении или обладать определённым свойством; *обобщённость*: характеристика познания, состоящая в выделении и фиксации относительно устойчивых свойств предметов и их отношений. (Нельзя не обратить внимание на лаконичную конкретизацию умственной деятельности: «деятельность, выполняемая человеком в уме») [40].

### 4.3 Определение - это гробик для умершей мысли

В отличие от требований [39], касающихся определений терминов, методологи часто вспоминают слова<sup>9</sup>, приведённые в названии этого подраздела, которые любили повторять Г.П. и П.Г. Щедровицкие<sup>10</sup>, приписывая их Аристотелю. Если быть точным, то Аристотель не давал конкретного определения этому выражению в своих произведениях, но использовал аналогию с грубыми инструментами для мыслей в различных контекстах и считал, что определение должно быть кратким и ясным выражением сути понятия, и что оно должно помогать в понимании, а не становиться самоцелью. В [41] он писал: «определение труднее обосновывать, чем опровергать» ... «легче всего опровергнуть определение, ибо в нём больше всего данных, поскольку многое было указано, и, чем больше их, тем быстрее получается умозаключение [против данного определения], ведь естественно, что там, где много даётся, скорее ошибаются, чем там, где немного». Поэтому единственный способ уяснить значение понятия - это получить множество примеров его использования, каждый новый пример использования будет уточнять область значения этого понятия<sup>9</sup>.

«... затруднительно дать некое всем подходящее определение [философии], которое всегда будет временно и ограничено и может быть использовано лишь в методических целях, а гораздо эффективнее описать указанное проблемное смысловое пространство» [42]. Взятые в квадратные скобки понятие [философия] легко может быть заменено на большинство или практически на все выработанные и вырабатываемые понятия, включая и те, которые рассмотрены в этой статье.

### 4.4 Квантовая онтология и лингвистика

В этом подразделе сделана попытка найти аналогию и сопоставить исходные позиции теории квантово-релятивистской физики, которая является основой современной научной картины мира, с теорией терминов и правилом построения определений понятий. В частности обратить внимание на воззрения относительно невозможности дать исчерпывающие определения понятиям, описать их неопределённое «облако», как размытую совокупность определений, и сравнить с квантовой моделью в микромире, где волна и частица также характеризуют неопределённое «облако» элементарных частиц.

До сих пор преобладает тенденция рассматривать квантово-релятивистскую теорию не как онтологию реального мира, а лишь как удачную вычислительную схему, позволяющую успешно предсказывать вероятности исходов различных физических экспериментов. При этом существует представление, что суть квантовой теории, т.е. реальную онтологию кван-

<sup>9</sup> Левенчук А. Практическое системное мышление. 2023. Изд-во: Издательские решения. 791 с.

<https://www.litres.ru/book/anatoliy-levenchuk/prakticheskoe-sistemnoe-myshlenie-2023-29799843/>.

<sup>10</sup> Курс лекций по философии управления П.Г. Щедровицкого в Высшей Школе Экономики 2000 г.

<https://shkp.ru/lib/publications/49>.

товых объектов (как там всё происходит на самом деле) понять принципиально невозможно. Поэтому предлагается «неописуемость» квантовой реальности принять как реальную онтологию квантовых объектов [43].

«Неописуемость» в данном случае означает, что квантовая реальность вне контекста измерительной процедуры (включающей акт наблюдения субъектом исхода эксперимента) не обладает сама по себе не только какими-либо классическими характеристиками, но также не обладает даже каким-то определённым квантовым состоянием. Если квантовая система ранее не подвергалась какой-либо процедуре измерения, то какие бы измерения над ней ни производили, о первоначальном состоянии этой системы ничего узнать нельзя. В процессе измерения исследуемая система переходит в одно из собственных состояний оператора измеряемой величины, а набор этих собственных состояний зависит только от вида оператора и не зависит от исходного состояния данной квантовой системы. Для того, чтобы по результатам измерения получить информацию об исходном состоянии (определить волновую функцию системы в исходном состоянии), необходимо собрать статистику, а для этого необходимо иметь ансамбль квантовых объектов, о котором заранее известно, что все эти объекты имеют одинаковое исходное квантовое состояние. Но такой ансамбль можно получить только с помощью какой-либо селективной процедуры, по сути тождественной измерению. Квантовую «неописуемость» принципиально невозможно истолковать как следствие неосведомлённости о каком-то вполне определённом «в себе» физическом состоянии. Это следует из «дополнительного» характера квантовых измерений, соответствующих некоммутирующим операторам. Такие измерения не могут быть осуществлены одновременно, и если одна из соответствующих этим измерениям наблюдаемых получает в результате измерения определённое значение, то другая, дополнительная ей наблюдаемая, напротив, будет объективно неопределённой. Следовательно, до измерения квантовая система в принципе не может иметь определённых значений всех этих «дополнительных» наблюдаемых одновременно. Т.е. неопределённость наблюдаемых в данном случае объективна, не есть следствие нашего незнания, а есть неопределённость самой квантовой системы [43].

Анализ процедуры измерения показывает, что перехода из «неописуемого» состояния в «описуемое» самой квантовой системы не происходит. Определённость возникает только в нашем восприятии, но не в самом объекте. Во-первых, безотносительно к наблюдению (чувственному восприятию) квантовая реальность «неописуема» в том смысле, что ей самой по себе невозможно до измерения приписать какие-либо классические характеристики (определённые координаты частиц, импульсы и т. п.) и даже невозможно до измерения приписать какое-то определённое квантовое состояние. Во-вторых, процедура измерения также не делает квантовую реальность более «описуемой», более определённой, т.к. акт измерения ничего не меняет в самой квантовой реальности, не делает её более определённой. Всякая определённость существует лишь в нашем интересубъективном восприятии. В-третьих, всякая динамика, всякое движение во времени есть феномен, существующий лишь в нашем восприятии, тогда как квантово-релятивистская физическая реальность абсолютно статична [43].

Если в приведённой выдержке заменить слова квантовая система, квантовые измерения (наблюдение), некоммутирующий оператор (или субъект) и другие, соответственно на ПрО, понятие (определение), субъекты (автор и пользователь термина), то видно, насколько близки описанные состояния в квантовых и понятийных системах.

Современная научная парадигма стоит на пороге квантовой революции. Центральные категории квантовой механики - нелокальность и запутанность - проявляются в языке квантовыми нелокальностью и запутанностью. В семиотическом аспекте характеристики квантовой реальности проявляются у иконических знаков, а когнитивная метафора, рассматриваемая с позиций квантовой механики, также обнаруживает близость квантовому миру. Символ, апеллирующий к образу, определяется как знак, закрепляющий содержания бессознательно и в силу этого непосредственно соотносящийся с квантовой реальностью [44].

Предполагается, что всё, что рационально осмыслено человеком, может быть полно и адекватно описано средствами языка. Но по отношению к содержательным областям бессознательного язык в своих репрезентативных возможностях оказывается бессильным. Эти области раскрывают себя в образах, в символах культуры. Образная природа метафоры, весьма близкой символу, связывает сознание человека и его бессознательное. За всеми языковыми эффектами и парадоксами, просматриваемыми в языке с позиций квантовой механики, вновь открывается «семантический человек», в котором две реальности – физическая и психическая, классическая и квантовая – взаимодействуют самым непосредственным образом. Познавая внешний мир, человек всё более полно постигает самого себя. Также и загадка

языка оказывается для человека загадкой его самого [44]. «Мы обнаружили странные следы на берегу Неизвестного, – писал Артур Эддингтон. – Мы одну за другой создавали глубокие теории, чтобы объяснить их происхождение. Наконец нам удалось воссоздать облик существа, оставившего отпечатки ног. И что же? Этим существом оказались мы сами» [45].

## 5 Синтез знаний в СА и ОА

Проблемы объединения знаний являются ключевыми в СА и ОА<sup>11</sup>. Знание об объекте является результатом решения задачи, оно описывает и фиксирует объект с какой-то одной стороны, выделяет в нём свойства, необходимые для решения этой задачи. То, что важно для решения одной задачи, нередко оказывается несущественным для решения других задач. Появление новых задач приводит к необходимости рассматривать объект с новых сторон, выделять в нём новые свойства и образовывать новые знания, которые необходимо согласовать с уже имеющимися знаниями об объекте. Объединение частных знаний об объекте имеет не только теоретическое, но и практическое значение. В [10] рассмотрены три механизма объединения знаний. Это систематизации в целях: употребления в практической деятельности, трансляции и обучения, создания многосторонней картины изучаемого объекта.

СА по Щедровицкому [9] - это метод исследования и проектирования СС, основанный на системном подходе к изучению объектов, его принципах и методах. СА - это средство решения проблем и задач, возникающих в процессе проектирования, управления и исследования СС. Основными принципами СА являются: целеориентированность, иерархичность, моделирование, формализация, структуризация, оптимизация [46].

ОА - это метод исследования сложных систем, основанный на понятии «онтологической схемы», которая представляет собой упрощённое изображение структуры и функций системы. ОА является важным инструментом для анализа СС, его применение требует от исследователя глубоких знаний в области СА, методологии и ПрО. ОА позволяет выявить основные элементы системы, их взаимосвязи и взаимодействия, а также определить ключевые проблемы и противоречия, которые могут возникнуть в процессе развития системы, позволяет более глубоко понять структуру и функции изучаемой системы, а также выявить возможные направления её развития [47].

Согласно [10] в систему научного предмета (НП) входит ряд основных типов единиц:

- *факты* (единицы эмпирического материала);
- *средства выражения* (языки разного типа, оперативные системы математики, системы понятий, заимствованные из других наук, понятия из общей методологии и т.п.);
- *методические предписания* (системы методик, фиксирующие процедуры научно-исследовательской работы);
- *онтологические схемы*, изображающие идеальную действительность изучения;
- *модели*, репрезентирующие частные объекты исследования;
- *знания*, объединяемые в систему теории;
- *проблемы*;
- *задачи* научного исследования.

В системе НП эти единицы организуются в связанные друг с другом агрегаты и образуют ряд функциональных и материально-организационных структур. Любой НП может быть

<sup>11</sup> См. также: **Вопросы методологии**. 1996. №3-4. *Щедровицкий Г.П.* Проблемы организации исследований: от теоретико-мыслительной к оргдеятельностной методологии анализа. С.5-20. *Щедровицкий Г.П.* Онтологические основания исследовательской мыслительной деятельности по решению задач и проблем. С.21-64. *Щедровицкий Г.П.* Онтология и онтологическая работа. С.65-122. *Щедровицкий Г.П.* Эпистемологические структуры онтологизации, объективации, реализации. С.123-164. *Щедровицкий Г.П.* Заметки об эпистемологических структурах онтологизации, объективации, реализации. С.165-176. [https://www.kentavr.mathedu.ru/text/voprosy\\_metodologii\\_1996\\_3-4/p21/](https://www.kentavr.mathedu.ru/text/voprosy_metodologii_1996_3-4/p21/).

представлен в виде набора блоков: если этот НП уже сложился, то блок-схема будет служить его изображением; если он только складывается, то выражением конструктивных требований к нему или его проектом. Вариант состава НП представлен на рисунке 8.

В зависимости от задач исследований и способов употребления схемы на неё будут накладываться различные связи и отношения, а в плоскости теоретического описания НП будет строиться фиксированная иерархия разных системных представлений. Основная трудность связана с тем, что между блоками, входящими в систему НП, существуют отношения и связи рефлексивного отображения. Особое место в системе НП занимают проблемы и задачи. Они фиксируют отношения несоответствия между наполнениями других блоков системы НП и определяют общий характер и направление процессов научно-исследовательской деятельности.

Каждый НП существует и изменяется в окружении (других НП, математики, методологии, философии), в котором он может получать эмпирический материал, онтологические представления и схемы, средства выражения для содержаний, образующих наполнение всех блоков. В частности, определяющим для всех НП является изменение и развитие категорий мышления, осуществляемые в рамках и средствами философии и методологии.

На передний план в СА и ОА должны выйти именно те блоки НП, которые изображают сам объект, т.е. онтология и модели, в которых можно найти средства для воспроизведения структуры объекта. Обязательным элементом является сопоставление имеющейся модели изучаемого объекта с моделями уже изученных объектов, а новых проблем, встающих перед этим объектом, - с теми проблемами, которые решались для других объектов. Если результаты сопоставления указывают на сходство проблем и объектов уже изученного и изучаемого, то можно перенести на новый объект те схемы анализа, которые были разработаны или применены при работе с изученным объектом.

На основе структурной модели строится планкарта, которая относится к объекту и представляющему его эмпирическому материалу: она переносит на них все те расчленения и связи, которые были получены на модели. Планкарта является схемой или программой, определяющей деятельность исследователя. Структурная модель строится на основе существующих частных знаний и частных предметов исследования данного объекта, охватывая объект в целом. Планкарта, фиксирующая предметы изучения, их последовательность и процедуры анализа в каждом предмете, является эффективным методологическим средством, позволяющим организовать исследования в определённом направлении, подчинить их согласованному движению к единой цели.

Модель всегда богаче свойствами, нежели сумма знаний, по которым она строилась, должна соответствовать объекту, и это соответствие распространяется на все её свойства.

Модели-конфигураторы после того, как с их помощью произведён синтез имеющихся знаний, сохраняются и развиваются, переходя в онтологию НП и становясь особым, постоянно действующим слоем всякой науки. Необходимо ещё до начала научного исследования объекта построить планкарту исследования, определить средства и метод работы. Всё здание науки начинает строиться с методологии [48], задающей план и программу всех исследований, а затем всё остальное, вплоть до системы формальных знаний теории.

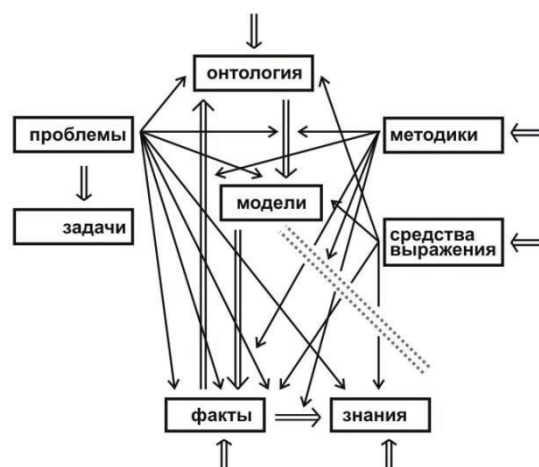


Рисунок 8 - Возможный вариант состава научного предмета по Г.П. Щедровицкому [10]

Любое знание или любая другая форма предметной организации: проект, онтологическая картина, конструкция, вещь, как элемент практической организации мира, может, в отличие от объектов природы, рассматриваться в контекстах *употребления их в деятельности и порождающей их деятельности* [47, 48]. В процессе коммуникации каждый раз должен появляться объект: один раз для решения проблем употребления знания, другой - для решения проблем порождения знания. Эти знания необходимо соотнести со всеми деятельностными структурами, процессами, т.к. в них будут изменяться онтологические картины и схемы соответственно тем организованностям, которые имеют онтологию.

Метод должен быть соразмерен объекту изучения, поэтому нет общих онтологических картин, общих средств анализа, общих понятий. Смысл в том, что онтологические картины, онтологию, онтологическую работу, объект необходимо описывать конкретно-исторически, а для этого нужны изменяющиеся средства и методы анализа. Исследуемый объект - исторически эволюционирующее, изменяющееся целое, в котором разные фазы и этапы наполнены разными структурными и процессуальными образованиями. Каждый такой этап представляет собой многообразие разных процессов, связанных друг с другом.

И здесь время – важный атрибут в онтологии, в СА и ОА [23].

## Заключение

СА и ОА, в первую очередь, - это методы познания, искусственные приёмы исследования действительности, в том числе и воображаемой, где система – это продукт, результат систематизации, классификации, онтологизации. Природа в хаосе материи, пользуясь законами мироздания и опираясь на онтологию ПрО, создала множество систем от галактик до человека, который, используя природоподобные технологии, создаёт СС артефактов. Онтология и гносеология – это «Инь и Янь»<sup>12</sup>, неразделимые и необходимые инструменты и средства синтеза и представлений знаний в ПрО, основа СА и ОА.

СА и ОА направлены на понимание СС и их компонентов, могут и должны использоваться вместе для более глубокого понимания и решения проблем. Различие этих понятий в большей степени определяется целеполаганием, теми традициями и контекстом, который сложился у исследователей в конкретных ПрО.

В рамках принятой номенклатуры НС [1] в НС 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» ОА, безусловно, является частью СА СС и входит в него, расширяя и дополняя СА.

## Список источников

- [1] Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 (ред. от 24.07.2023) «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённое приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 г. № 1093».
- [2] **Боргест Н.М.** Проблемы разработки и развития онтологии науки: анализ классификаций. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №3(45). С. 278-298. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-278-298.
- [3] **Боргест Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования*. 2013. №3(9). С.9-31.
- [4] **Дубровский В.Я., Щедровицкий Л.П.** Проблемы системного инженерно-психологического проектирования. М.: Издательство Московского университета, 1971. 94 с.
- [5] **Анохин П.К.** Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / В сб. Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973. С.5–61.

<sup>12</sup> См. также: *От редакции*. Онтология Армагеддона: поиск выхода. *Онтология проектирования*, №4, Т.12, 2022. С.425-429.



- [6] **Садовский В.Н.** Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. М.: Наука, 1975. 280 с.
- [7] **Уемов А.И.** Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. 272 с.
- [8] **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 487 с.
- [9] **Щедровицкий Г.П.** Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок // Системные исследования: Методологические проблемы. Ежегодник 1981. М.: 1981.
- [10] Синтез знаний: проблемы и методы // На пути к теории научного знания. М.: 1984 [Г.П. Щедровицкий. Избранные труды. М., 1995] <https://www.fondgp.ru/publications/синтез-знаний-проблемы-и-методы/>.
- [11] **Волкова В.Н., Денисов А.А.** Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 510 с.
- [12] **Хорошевский В.Ф.** Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации. *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.429-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [13] **Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.** Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №1(27). С.58-73. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.
- [14] **Тихонова Т.А., Сутягин П.В., Раузина С.Е.** Онтологии в изучении анатомии человека в медицинском вузе. *Международный журнал экспериментального образования* № 5, 2016. С.277-280.
- [15] **Ast M., Glas M., Röhm T.** Creating an Ontology for Aircraft Design. 2014. Corpus ID: 61230639. <https://www.semanticscholar.org/paper/Creating-an-Ontology-for-Aircraft-Design-Ast-Glas/39f52dd093f28982d678f6d434e935fac00c1bc3>.
- [16] **Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.** Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2(44). С.158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.
- [17] **Borgest N.M., Vlasov S.A., Glibotsky D.S.** Development and Application of an Application with Augmented Reality Technology for Training Future Aircraft Designers // Proceedings - 2023 International Russian Smart Industry Conference, SmartIndustryCon 2023. 2023. P.387-391. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110795.
- [18] **Borgest N., Korovin M., Gromov Al., Gromov An.** The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2015. P.147-156. DOI 10.1007/978-3-319-15147-2.
- [19] **Боргест Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 3: автоматизация бизнес-процессов. *Онтология проектирования*. 2014. №1(11). С. 24-41.
- [20] **Боргест Н.М.** Социально-экономический эффект онтологического анализа при создании информационных систем. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №1(39). С.35-50. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.
- [21] **Korovin M., Borgest N.** Multi-agent approach towards creating an adaptive learning environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. P.216-224. DOI: 10.1007/978-3-319-97885-7\_22.
- [22] **Gruber T.R.** A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 1993; 5(2): 199-220. <https://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993>.
- [23] **Дацюк С.А.** Онтологизации [Электронный ресурс]. Киев, 2009. 417 с. [http://lit.lib.ru/d/dacjuk\\_s\\_a/text\\_0030.shtml](http://lit.lib.ru/d/dacjuk_s_a/text_0030.shtml).
- [24] **Полянкина С.Ю.** Онлайн-образование: реонтологизация или деонтологизация? *Профессиональное образование в современном мире*. 2020. Т.10, №1. С.3428–3437. DOI: 10.15372/PEMW20200105.
- [25] **Bertalanffy L. von.** An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1950, vol.I, N 2, p.134-165.
- [26] **Хазов В.С.** Системный анализ в современной методологии. *Архивъ внутренней медицины*. 2012. №5(7). С.62-68.
- [27] Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Высшая школа, 2004. 616 с.
- [28] Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. 848 с.
- [29] **Волкова В.Н., Денисов А.А.** Теория систем и системный анализ: учебник для вузов. М.: Изд-во «Юрайт», серия Университеты России, 2010. 679 с.
- [30] **Бочарников В. П., Бочарников И. В., Свешников С. В.** Основы системного анализа и управления организациями. Теория и практика. М.: ДМК Пресс. 2014. 286 с.

- [31] Системный анализ деятельности предприятий в экономике и финансах: учебное пособие / Л.С. Звягин, А.И. Сатдыков, О.В. Беспалова-Милек; под ред. Л.С. Звягина. М.: КНОРУС, 2020. 590 с.
- [32] *Rzevski G.* Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*, 2014, N4, P.8-17.
- [33] ГОСТ Р 58908.12—2020 (ИСО 81346-12:2018) Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. Часть 12. Объекты капитального строительства и системы инженерно-технического обеспечения. М.: Стандартинформ, 2020. 54 с.
- [34] ГОСТ Р 43.2.1-2007 Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Язык операторской деятельности. Общие положения. М.: Стандартинформ 2018. 15 с.
- [35] ГОСТ Р 43.0.2-2006 Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2018. 7 с.
- [36] ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. Дата введения 2021-03-01. М.: Стандартинформ 2021. 16 с.
- [37] ГОСТ Р 43.0.12-2018. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Базы знаний в технической деятельности. М.: Стандартинформ 2018. 30 с.
- [38] ГОСТ Р ИСО/МЭК 21838-1-2021. Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO). Часть 1. Требования. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 28 с.
- [39] ГОСТ Р 54136-2010. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Руководство по применению стандартов, структура и словарь. Дата введения 01.09.2011. М.: Стандартинформ 2012. 36 с.
- [40] ГОСТ Р 43.0.20-2019. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Деятельность. М.: Стандартинформ. 2019. 24 с.
- [41] *Аристотель.* Сочинения в 4 томах. Т.2. М.: Мысль, 1978. 687 с. (Философское наследие). С.349-532. <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000358/st006.shtml>.
- [42] *Мионов В.В., Иванов А.В.* Онтология и теория познания. М.: Гардарики, 2005. 447 с.
- [43] *Иванов Е.М.* Квантовая онтология. *Социосфера*, 2018. №3. С.33-45. <http://philosophystorm.org/node/16141>.
- [44] *Цветкова А.А., Евстафьева М.А.* Языкознание в аспекте квантовой теории. Гуманитарный научный вестник. 2020. №2. С.109-127. DOI: 10.5281/zenodo.3745533.
- [45] *Уилсон Р.А.* Квантовая психология. Управление сознанием: практично, остроумно, увлекательно. М.: Книжное издательство «София», 2016. 224 с.
- [46] Путеводитель по основным понятиям и схемам методологии Организации, Руководства и Управления: Хрестоматия по работам Г.П. Щедровицкого. Гл. ред. А.Г. Реус. Сост. А.П. Зинченко. М.: Дело, 2004. 208 с.
- [47] *Дубровский В.Я.* Онтология деятельности Г.П. Щедровицкого // Электронная публикация: Центр гуманитарных технологий. 26.02.2012. <https://gtmarket.ru/library/articles/6553>.
- [48] *Новиков А.М., Новиков Д.А.* Методология научного исследования. М.: Либроком. 2010. 280 с.

## Сведения об авторе

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



Поступила в редакцию 25.12.2023, после рецензирования 15.02.2024. Принята к публикации 26.02.2024.



## Systems and ontological analyses: similarities and differences between the concepts

© 2024, N.M. Borgest

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia  
Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Science, Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Science, Samara, Russia

### Abstract

Terms, concepts and their content are not only the foundations of public communications, the keys to mutual understanding, knowledge transfer and cognition, but also fundamental elements in the construction of computer ontologies for artificial intelligence systems. The evolution of knowledge in subject areas leads, as a consequence, to the evolution of language, which is forced to change, borrowing words from other areas, expanding their meanings. The concept of systems analysis has a broad interpretation and is actively used in various fields of activity (science, economics, design, engineering, etc.), going deeper and adapting to specific subject and subject areas. The concepts related to system analysis (system, subject area, problem area, etc.) are also evolving. Systems analysis focuses on the relationships between elements of a system and determining its structure and functions; it includes various modeling and optimization methods and is used to solve specific problems and problems. Ontological analysis is associated with the study and description of objects, events, processes and relationships in the subject area, of which the system (or systems) may be a part; describes the structure and properties of the elements that make up the system and the relationships between them; used to create a formal description of a system and provide a general understanding of its components. The result of ontological analysis can be the basis for systems analysis or a part of it. Systems and ontological analyses are aimed at understand complex systems and their components and can be used together. The difference between these concepts is largely determined by the content of the field of study concepts, its boundaries, the object of research as a process, goal setting, the traditions and context that have developed among researchers in specific subject areas. Within the framework of the accepted nomenclature of scientific specialties of the Higher Attestation Commission, it can be argued that ontological analysis is included in the scientific specialty “Systems analysis, control and information processing, statistics.”

**Keywords:** *systems analysis, ontological analysis, system, ontology, goal setting, subject area, problem area.*

**For citation:** Borgest NM. Systems and ontological analyses: similarities and differences between the concepts [In Russian]. *Ontology of designing.* 2024; 14(1): 9-28. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28.

**Funding:** The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research theme code FMRW-2022-0030.

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

### List of figures

Figure 1 – On the issue of the relationship and inclusion of the concepts of systems and ontological analyses

Figure 2 – Simplified diagrams of some systems of the human body

Figure 3 – Fragment of the ontology of human organs [14]

Figure 4 – Simplified diagrams of some systems of the B 737 aircraft

Figure 5 – Results of two-way matching (student chooses a topic, teacher chooses a student) for two groups of students [21]

Figure 6 – Knowledge graph of the scientific specialty “Systems analysis, control and information processing, statistics”

Figure 7 – Knowledge graph of the scientific specialty “Systems analysis, control and information processing, statistics” according to YandexGPT data

Figure 8 – Possible content of a scientific subject according to G.P. Shchedrovitsky [10]

## References

- [1] Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated February 24, 2021 N 118 (as amended on May 11, 2022) [In Russian]. "On approval of the nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded, and amendments to the Regulations on the Council for the defense of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Science, approved by order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of November 10, 2017 N 1093".
- [2] **Borgest NM**. Development problems of ontology of science: Classification analysis [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 278-298. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-278-298.
- [3] **Borgest NM**. Keywords of ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3(3): 9-31.
- [4] **Dubrovsky VYa, Shchedrovitsky LP**. Problems of system engineering and psychological design [In Russian]. Moscow: Moscow University Publishing House, 1971. 94 p.
- [5] **Anokhin PK**. Fundamental issues of the general theory of functional systems [In Russian]. In collection. Principles of systemic organization of functions. Moscow: Nauka, 1973. P.5–61.
- [6] **Sadovsky VN**. Foundations of general systems theory. Logical and methodological analysis [In Russian]. Moscow: Nauka, 1975. 280 p.
- [7] **Uemov AI**. Systems approach and general systems theory [In Russian]. Moscow: "Mysl", 1978. 272 p.
- [8] **Moiseev NN**. Mathematical problems of system analysis [In Russian]. Moscow: "Nauka", 1981. 487 p.
- [9] **Shchedrovitsky GP**. Principles and general scheme of methodological organization of system-structural research and development [In Russian]. System research: Methodological problems. Yearbook 1981. Moscow, 1981.
- [10] Synthesis of knowledge: problems and methods [In Russian]. On the way to the theory of scientific knowledge. Moscow, 1984 [G.P. Shchedrovitsky. Selected works. M., 1995] <https://www.fondgp.ru/publications/синтез-знаний-проблемы-и-методы/>.
- [11] **Volkova VN, Denisov AA**. Fundamentals of systems theory and system analysis [In Russian]. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg State Technical University, 1997. 510 p.
- [12] **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.
- [13] **Gribova VV, Petryaeva MV, Okun DB, Shalfeeva EA**. Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 58-73. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.
- [14] **Tikhonova TA, Sutyagin PV, Rausina SYe**. Ontologies in learning of human anatomy in institute of higher medical education [In Russian]. *International Journal of Experimental Education*. 2016; 5: 277-280.
- [15] **Ast M, Glas M, Röhm T**. Creating an Ontology for Aircraft Design. 2014. Corpus ID: 61230639. <https://www.semanticscholar.org/paper/Creating-an-Ontology-for-Aircraft-Design-Ast-Glas/39f52dd093f28982d678f6d434e935fac00c1bc3>.
- [16] **Dorodnykh NO, Nikolaychuk OA, Yurin AY**. Using ontological content patterns engineering for formalize the process of maintenance and repair of critical objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(2): 158-171. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.
- [17] **Borgest NM, Vlasov SA, Glibotsky DS**. Development and Application of an Application with Augmented Reality Technology for Training Future Aircraft Designers // Proceedings - 2023 International Russian Smart Industry Conference, SmartIndustryCon 2023. 2023. P. 387-391. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110795.
- [18] **Borgest N, Korovin M, Gromov AI, Gromov An**. The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2015. P.147-156. DOI 10.1007/978-3-319-15147-2.
- [19] **Borgest NM**. Future university: ontological approach. Part 3: automation of business processes [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 1: 24-41.
- [20] **Borgest NM**. Socio-economic effect of ontological analysis when creating information systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 35-50. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-35-50.
- [21] **Korovin M., Borgest N**. Multi-agent approach towards creating an adaptive learning environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019; 836: 216-224. DOI:10.1007/978-3-319-97885-7\_22.
- [22] **Gruber TR**. A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 1993; 5(2): 199-220. <https://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993>.
- [23] **Datsyuk S**. Ontologization. Kiev, 2009, 417 p. Available at: [http://lit.lib.ru/d/dacjuk\\_s\\_a/text\\_0030.shtml](http://lit.lib.ru/d/dacjuk_s_a/text_0030.shtml).
- [24] **Polyankina SYu**. Online-education: reontologisation or deontologisation? [In Russian]. *Professional education in the modern world*, 2020; 10(1): 3428–3437. DOI: 10.15372/PEMW20200105.
- [25] **Bertalanffy L. von**. An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1950; I(2): 134-165.

- [26] **Khazov VS.** System analysis in modern methodology [In Russian]. *Archive of Internal Medicine*. 2012; 5(7): 62-68.
- [27] System analysis and decision making: Dictionary-reference book [In Russian]. Ed. V.N. Volkova, V.N. Kozlova. Moscow: Higher School, 2004. 616 p.
- [28] Systems theory and system analysis in the management of organizations: Handbook [In Russian]. Ed. V.N. Volkova and A.A. Emelyanova. Moscow: Finance and Statistics; INFRA-M, 2009. 848 p.
- [29] **Volkova VN, Denisov AA.** Systems theory and system analysis: a textbook for universities [In Russian]. Moscow: Publishing house "Urayt", series Universities of Russia, 2010. 679 p.
- [30] **Bocharnikov VP, Bocharnikov IV, Sveshnikov SV.** Fundamentals of system analysis and management of organizations. Theory and practice [In Russian]. Publisher: DMK Press. 2014. 286 p.
- [31] System analysis of enterprise activities in economics and finance: textbook [In Russian]. L.S. Zvyagin, A.I. Satdykov, O.V. Bepalova-Milek; edited by L.S. Zvyagina. Moscow: KNORUS, 2020. 590 p.
- [32] **Rzevski G.** Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*, 2014; 4: 8-17. [https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014\\_4\(14\)/3\\_Rzevski.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2014_4(14)/3_Rzevski.pdf).
- [33] GOST R 58908.12—2020 (ISO 81346-12:2018) Industrial systems, installations, equipment and industrial products. Structuring principles and codes. Part 12. Capital construction facilities and engineering support systems [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2020. 54 p.
- [34] GOST R 43.2.1-2007 Information support for equipment and operator activities. Language of operator activity. General provisions [In Russian]. Moscow: Standardinform 2018. 15 p.
- [35] GOST R 43.0.2-2006 Information support for equipment and operator activities. Terms and Definitions [In Russian]. Moscow: Standardinform. 2018. 7 p.
- [36] GOST R 59277-2020. Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems [In Russian]. Date of introduction 2021-03-01. Moscow: Standardinform 2021. 16 p.
- [37] GOST R 43.0.12-2018. Information support for equipment and operator activities. Knowledge bases in technical activities [In Russian]. Moscow: Standardinform 2018. 30 p.
- [38] GOST R ISO/IEC 21838-1-2021. Information Technology. Top-level ontologies (TLOs). Part 1. Requirements [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 28 p.
- [39] GOST R 54136—2010. Industrial automation systems and integration. Standards Application Guide, Structure and Vocabulary [In Russian]. Moscow: Standardinform 2012. 36 p.
- [40] GOST R 43.0.20-2019. Information support for equipment and operator activities. Activity [In Russian]. Moscow: Standardinform. 2019. 24 p.
- [41] **Aristotle.** Works in 4 volumes [In Russian]. V.2. Moscow: Mysl, 1978. 687 p. (Philosophical Heritage). P.349-532.
- [42] **Mironov VV, Ivanov AV.** Ontology and theory of knowledge [In Russian]. Moscow: Gardariki, 2005. 447 p.
- [43] **Ivanov EM.** Quantum ontology [In Russian]. *Sociosphere*. 2018; 3: 33-45. <http://philosophystorm.org/node/16141>.
- [44] **Tsvetkova AA, Evstafieva MA.** Linguistics in the aspect of quantum theory [In Russian]. *Humanitarian scientific newsletter*. 2020; 2: 109-127. DOI:10.5281/zenodo.3745533.
- [45] **Wilson RA.** Quantum psychology. Mind control: practical, witty, entertaining [In Russian]. Moscow: Book publishing house "Sofia", 2016. 224 p.
- [46] A guide to the basic concepts and schemes of the methodology of Organization, Leadership and Management: A Reader on the works of G.P. Shchedrovitsky [In Russian]. Chief editor A.G. Reus. Comp. A.P. Zinchenko. Moscow: Delo, 2004. 208 p.
- [47] **Dubrovsky VYa.** Ontology of G.P. Shchedrovitsky's activity [In Russian]. Electronic publication: Center for Humanitarian Technologies. 02/26/2012. <https://gtmarket.ru/library/articles/6553>.
- [48] **Novikov AM, Novikov DA.** Methodology of scientific research [In Russian]. Moscow: Librocom. 2010. 280 p.
- 

## About the author

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

---

Received December 25, 2023. Revised February 15, 2024. Accepted February 26, 2024.

---

## ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 519.876.5

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-29-41

**Онтология проектирования ситуационных цифровых двойников для моделирования структурной безопасности индустриально-природных комплексов**

© 2024, А.Я. Фридман

*Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова  
Кольского научного центра РАН (ИИММ КНЦ РАН), Апатиты, Россия*

**Аннотация**

Предложена онтология проектирования специализированных цифровых двойников компонентов пространственно-распределённых индустриально-природных комплексов (ИПК) на основе ранее разработанных автором теории и интеллектуализированной системы ситуационного моделирования. Онтология позволяет исследовать взаимодействие нестационарных ИПК в нормальных режимах функционирования и при возникновении нештатных или чрезвычайных ситуаций. Отличительная особенность разработки состоит в возможности превентивной аналитики безопасности интеграции ИПК в существующие инфраструктуры и обеспечивает количественную оценку эффективности предполагаемых мер предупреждения отказов компонентов ИПК, включая раннее обнаружение зависимых (сложных, каскадных) отказов. С целью повышения гибкости моделирования создаваемых ИПК представлена концепция структурной безопасности, обобщающая способы учёта различных аспектов безопасности. Актуальность поставленной задачи определяется ростом количества и энерговооруженности ИПК в современном мире, усложнением их взаимодействий и увеличением возможности наиболее опасных зависимых отказов, а также ростом объёмов доступных для анализа данных в результате быстрого развития Интернета вещей. Новизна предлагаемого подхода заключается в комплексном применении экспертных знаний на всех этапах моделирования в причинно-следственной парадигме с целью синтеза предпочтительных вариантов структур ИПК.

**Ключевые слова:** *индустриально-природный комплекс, ситуационный анализ, структурная безопасность, онтология проектирования, ситуационный цифровой двойник.*

**Цитирование:** *Фридман А.Я.* Онтология проектирования ситуационных цифровых двойников для моделирования структурной безопасности индустриально-природных комплексов // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.29-41. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-29-41.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Введение**

Структурно-сложные объекты, содержащие промышленные и природные составные части, можно назвать индустриально-природными комплексами (ИПК). При имитационном моделировании таких объектов, особенно на начальных стадиях жизненного цикла, когда принципиально невозможно получить достаточный объём сведений об их характеристиках, приходится в значительной степени опираться на знания экспертов, привлекая математические модели (ММ) компонентов объектов. Характеристики промышленных компонентов оптимизируются посредством управления (принятия решений), а требования приемлемой жизнеспособности природных компонентов задают ограничения на допустимые параметры ин-

дустриальных систем. Наиболее гибкой средой формализации знаний и данных об ИПК представляется онтология проектирования, которая, согласно [1], позволяет структурированно описывать понятия предметной области (ПрО), критерии и модели, применимые для исследования объекта, методы и сценарии его работы, обеспечивать эффективное аккумулирование и аналитическую обработку разнородных данных и знаний о нём.

Задача моделирования ИПК актуальна на всех этапах его существования, а возможности её реализации существенно растут по мере совершенствования методов конструирования и управления. Новый шаг в области построения гибких систем компьютерного исследования ИПК связан с ускоренным развитием Интернета вещей, которое значительно увеличивает объём информации о характеристиках объектов (обычно в форме временных рядов значений таких характеристик) и делает более насущным корректное структурирование и применение этой информации.

Средства моделирования сложных объектов чаще всего редуцируют сложность модели путём перехода к исследованию либо вероятностных свойств объекта (энтропии [2], математических ожиданий и вероятностных моментов более высокого порядка [3]), либо графовых свойств модели (связности, достижимости состояний и т.д.) [4]. Существуют ПрО, в которых указанные подходы к созданию модели непригодны, поскольку требуется определить конкретные комбинации значений характеристик объекта, порождающие желательные или нежелательные траектории его поведения. Здесь нельзя применить и нейронные сети с любой глубиной обучения. Задачи такого типа возникают в теории оптимального управления при анализе бифуркаций нелинейных систем и в других сферах. В анализе и синтезе ИПК важен аспект безопасности их работы, причём не только внутри объекта, но и во взаимодействии с другими объектами, особенно если они относятся к потенциально опасным и формируют критические инфраструктуры [5]. Представляется, что в таких случаях допустимы только причинно-следственные модели, но системы сопровождения этих моделей должны допускать их высокую размерность (количество переменных), достаточную для достижения приемлемой адекватности моделирования. Единственным способом справиться со сложностью подобных моделей остаётся их построение в виде иерархий [6].

В настоящей работе предлагается решение задачи исследования взаимодействий ИПК с использованием специализированной онтологии проектирования новых ИПК на основе теории и системы ситуационного моделирования (ССМ) [7]. Рассматриваются особенности учёта различных аспектов безопасности ИПК и предлагается концепция структурной безопасности для унификации средств анализа этих аспектов, приводится обзор основных особенностей ССМ, описывается структура новой онтологии проектирования ИПК в целях выявления опасных сценариев их работы, а также методика применения онтологии проектирования ситуационных цифровых двойников (ЦД) для анализа безопасности развития ИПК.

## 1 Структурная безопасность ИПК

### 1.1 Нормативная база поддержания безопасности

Важность обеспечения безопасности различных областей человеческой деятельности привела к введению в действие законов, регламентирующих правила и терминологию такой деятельности. Основными следует считать федеральные законы (например, [5, 8, 9]), требования которых дополняются и конкретизируются постановлениями Правительства РФ (в частности, [10, 11]) и другими документами. В дальнейшем изложении используются следующие термины [5].

*Чрезвычайная ситуация* (ЧС) - это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

*Критически важный объект* (КВО) - это объект, нарушение или прекращение функционирования которого приведёт к потере управления экономикой Российской Федерации, субъекта Российской Федерации или административно-территориальной единицы субъекта Российской Федерации, её необратимому негативному изменению (разрушению) либо существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения.

*Потенциально опасный объект* (ПОО) - это объект, на котором расположены здания и сооружения повышенного уровня ответственности, либо объект, на котором возможно одновременное пребывание более пяти тысяч человек.

На каждом из КВО, ПОО и других возможных типов опасных объектов могут возникать ЧС различной природы, поэтому в публикациях вводятся различные виды безопасности. Например, в [12] приведены определение и виды безопасности.

*Безопасность* - условия, в которых находится сложная система, когда действие внешних и внутренних факторов не приводит к процессам, которые считаются негативными по отношению к данной сложной системе в соответствии с имеющимися на данном этапе потребностями, знаниями и представлениями.

*Виды безопасности*: авиационная безопасность, безопасность дорожного движения, безопасность движения на железнодорожном транспорте, безопасность полётов, биологическая безопасность, военная безопасность, государственная безопасность, безопасность систем управления, информационная безопасность, компьютерная безопасность, национальная безопасность, охрана труда, пожарная безопасность, половая безопасность, промышленная безопасность, радиационная безопасность, теория национальной безопасности, техника безопасности, техносферная безопасность, транспортная безопасность, экономическая безопасность, экологическая безопасность, электрическая безопасность, энергетическая безопасность, ядерная безопасность, безопасность военной службы, и др.

Этот список не является исчерпывающим, а перечисленные в нём виды безопасности зависят друг от друга, т.е. не могут анализироваться самостоятельно.

В [13] приведён пример безопасности дорожного движения, для которой предложено использовать следующие термины (показатели) безопасности:

- *нормативная безопасность* достигается, когда продукт или конструкция соответствует применимым стандартам и практикам проектирования, изготовления или производства, независимо от фактической истории безопасности продукта;
- *безопасность по существу* (объективная безопасность) возникает, когда реальная история безопасности благоприятна, независимо от того, соблюдаются стандарты или нет;
- *воспринимаемая* (субъективная) *безопасность* относится к уровню комфорта пользователей и восприятию риска без учёта стандартов или истории безопасности. Например, сигналы светофора воспринимаются как безопасные, однако при некоторых обстоятельствах они могут увеличить количество дорожно-транспортных происшествий на перекрёстке. Транспортные развязки с круговым движением в целом имеют хорошие показатели безопасности, однако часто заставляют водителей нервничать.

Подводя итог краткому анализу нормативной базы в области безопасности КВО и ПОО, можно утверждать, что в ней используются разнородные и невзаимосвязанные требования, практически отсутствуют количественные показатели безопасности, требуется унифицировать подход к решению задач обеспечения безопасности ИПК.

## 1.2 Унифицированный метод анализа безопасности ИПК

Наибольший финансовый и материальный ущерб возникает в результате зависимых (каскадных или цепочечных) отказов в связанных сложных системах, когда какой-либо отказ (инициирующее событие) в одной из них порождает отказ в другой [12]. Примеры зависимых отказов:

- *Квебекское событие* (1957 год) - цепочка многочисленных негативных последствий сильнейшей геомагнитной бури, произошедшей во время 22-го цикла солнечной активности;
- отключение электроэнергии в США и Канаде 14 августа 2003 года;



- самопроизвольное переключение светофоров на железной дороге Санкт-Петербург – Мурманск в ходе магнитной бури 2010 года.

Для разработки единого подхода к анализу возможных аспектов безопасности представляется необходимым построение их отображения в некоторое общее пространство, позволяющее оценивать степень влияния (по отдельности и в любых сочетаниях) на работоспособность группы связанных ИПК; выявлять потенциально опасные цепочки зависимых отказов; моделировать степень повышения безопасности в результате применения предполагаемых мер предупреждения отказов. Выходом такого отображения должна быть количественная (числовая) ось обобщённой степени опасности, которую можно трансформировать в финансовые показатели ущерба.

Наиболее гибкая среда для построения сложных пространств сегодня, по-видимому, может строиться в парадигме концептуальных пространств, широко применяемых в различных областях для построения таксономий и других систем классификации (см., например, [14]).

*Концептуальное пространство* (КП) есть геометрическая структура, составляемая из *размерностей качества* объектов (РКО) некоторой ПрО, формализующих степень сходства/отличия таких объектов с целью построения отношения частичного порядка на множестве объектов. Каждая РКО может включать одну или несколько физических размерностей пространства характеристик определённого объекта. Так, параметр высоты звука можно упорядочить на одномерной шкале значений от «низкого» к «высокому», а расстояние в евклидовом пространстве моделируется трёхмерной РКО. Если какая-либо РКО дискретна, она непосредственно делит объекты на классы.

Каждый объект отображается в КП определённым набором *атрибутов* (качеств). Значения атрибутов изменяются в пределах заданных *доменов*, непрерывных либо дискретных. Тогда КП есть декартово произведение всех доменов, любой объект представляется точкой в КП, а области «сгущения» объектов в КП моделируют *понятия*.

Отношения сходства/различия объектов отображаются в КП с помощью понятия *расстояния*, обычно для этого применяют многомерное шкалирование [15].

*Мера расстояния*  $d$  в некотором КП  $CS$  есть монотонная функция ( $d : CS \times CS \rightarrow T$ , где  $T$  - вполне упорядоченное множество), такая, что два объекта похожи тем сильнее, чем меньше расстояние между ними. В частном случае, когда мера расстояния есть метрика, определяется *отношение промежуточности* между объектами: объект  $b$  находится между объектами  $a$  и  $c$ , если и только если  $d(a; b) + d(b; c) = d(a; c)$ .

Для поиска понятий в КП обычно используют следующие свойства его областей (подмножеств). Область КП:

- *связна*, если это не объединение двух непустых несвязных замкнутых множеств;
- *звездообразна* относительно некоторой точки  $p$  из какой-либо области  $CS$ , называемой *ядром*  $CS$ , если для любой точки  $x$  из  $CS$  все точки между  $x$  и  $p$  находятся в  $CS$ ;
- *выпукла*, если для любой пары точек  $x$  и  $y$  из этой области все точки между  $x$  и  $y$  тоже принадлежат к ней.

Перечисленные свойства позволяют разбить заданное КП на (значимые) подпространства, содержащие разные категории объектов, каждый из которых схож с другими объектами этой категории и отличается от объектов других категорий тем, что значения определённого набора его атрибутов находятся в заданных интервалах доменов этих атрибутов. Принципиальное отличие такой процедуры *категоризации* (называемой *когнитивной* или прототипической) от традиционной, где все представители категории неотличимы и равноправны, состоит в том, что когнитивные категории содержат типичные экземпляры (объекты). Наиболее типичный представитель каждой когнитивной категории, свойства которого максимально близки к заданным для этой категории интервалам, называется её *прототипом*. Примеры:

прототип категории «русский поэт» - очевидно, Пушкин, а прототип категории «фрукт в России» (менее очевидно, но общепринято) - яблоко. Прототип не всегда совпадает с реальным экземпляром категории, он может быть «недостижимым идеалом». Внутри категории степень типичности её экземпляров определяется их расстоянием до прототипа.

Преимущество описанного подхода заключается в том, что он позволяет гибко учитывать контекст задач и, задавая пороги сходства, с помощью диаграммы Вороного [16] разбивать КП на области по категориям по правилу ближайшего соседа, причём применение евклидовой метрики порождает выпуклые категории.

КП можно применить и в задаче моделирования безопасности ИПК. Основная идея состоит в том, чтобы строить метрику КП в ситуационной модели ИПК с учётом мнений экспертов о том или ином состоянии моделируемого объекта и сравнивать различные сценарии функционирования и взаимодействия ИПК по некоторому обобщённому критерию безопасности состояний, формирующих эти сценарии.

Чтобы проиллюстрировать особенности КП в этой задаче, требуется предварительно изложить основы работы ССМ. Все остальные детали и доказательства сделанных здесь утверждений имеются в приведённых ссылках на публикации по этой тематике.

## 2 Структура и основные особенности ССМ

ССМ [7] разработана как конкретизация идей ситуационного управления Д.А. Поспелова [17] и метода структурного анализа и конструирования сложных систем [18] для решения различных задач моделирования ИПК. Ядро ССМ - это открытая для оперативных изменений *ситуационная концептуальная модель* (СКМ) ИПК, которая управляет всеми этапами моделирования и организует совместную работу имитационных модулей (симуляторов) элементов ИПК, встроенных в ССМ географической информационной системы (ГИС) и экспертной системы (ЭС).

В СКМ допускаются сущности трёх типов: *объекты* (организационные составляющие ИПК), *процессы* (имитаторы работы объектов) и *ресурсы* (имитаторы всех взаимодействий объектов и процессов, обычно в виде временных рядов значений некоторых типизированных переменных). Разработка СКМ некоторого ИПК начинается с создания модели его организационной структуры - *дерева объектов*, в котором декомпозиция объекта на подобъекты бывает двух типов: по И, когда все подобъекты необходимы для функционирования их суперобъекта, и по исключаяющему ИЛИ, когда суперобъект реализуется одним из подобъектов (так в СКМ вносятся структурные альтернативы работы ИПК). В каждой ветви дерева объектов один из них связывается с картой путём присвоения ему конечного числа ГИС-элементов (например, точек, дуг, полигонов), составляющих его графическое представление и позволяющих однозначно связывать это представление с концептуальной структурой ИПК для автоматического ввода графических характеристик объектов в имитаторы и для визуализации результатов расчётов. Каждый процесс приписывается какому-либо объекту и имитирует получение заданного набора своих *выходных ресурсов* из известного набора *входных ресурсов*. Ресурсы могут быть *материальными* (вещества, энергия и т.д.) и *информационными* (финансовые потоки, ставки налогов и т.п.). Первые описывают реальные связи между элементами СКМ, вторые используются для настройки режимов работы ИПК.

В результате построения дерева объектов, приписывания им наборов процессов и задания ресурсов, связывающих объекты и процессы, формируется модель ИПК как вычислительная сеть [19]. Модель может изменяться по мере необходимости путём редактирования структуры СКМ и/или спецификаций её элементов. После завершения конструирования и

любого этапа модификации модели выполняется ряд процедур контроля корректности модели, гарантирующих возможность автоматической генерации заданий на имитацию.

Способы реализации элементов СКМ в компьютере конкретизируются присвоением каждому из них *исполнителя (executor)*<sup>1</sup>. Исполнитель процесса специфицирует правила генерирования значений выходных ресурсов по входным, исполнитель ресурса формирует временной ряд его значений, исполнитель объекта автоматизирует выдачу требуемых графических характеристик. Процесс имитации состоит в определении корректной последовательности и вызове исполнителей процессов для реализации требуемого сценария управления ИПК, автоматической подготовке необходимых для этого значений ресурсов и представлении результатов на карте. При отсутствии информации для построения ММ процессов и ресурсов, их исполнители могут задаваться набором продукционных правил в ЭС ССМ, таким образом строятся *быстрые прототипы* соответствующих моделей, необходимые для исследования создаваемых ИПК.

*Ситуационный подход* к исследованию модели ИПК в ССМ основан на строгих определениях следующих понятий, широко используемых в различных областях науки и техники.

*Факт* содержит сведения о текущих или желательных значениях некоторого ресурса и является атомом информации в ССМ. *Исходная ситуация* есть перечень фактов, которые пользователь вводит в начале сеанса работы с моделью. Этот перечень интерпретируется системой как задание на имитацию. Поэтому исходная ситуация расширяется и дополняется с помощью анализа структуры ИПК (при необходимости у пользователя уточняются его пожелания) до *полной ситуации*, моделируемой связным фрагментом модели, который содержит все данные, нужные для имитации исходной ситуации. Корневой объект этого фрагмента именуется *объектом принятия решений (ОПР)*, поскольку его организационный уровень позволяет управлять полной ситуацией. Полная ситуация может содержать несколько допустимых вариантов структуры ИПК (они появляются при конструировании модели ИПК за счёт декомпозиции объектов по ИЛИ и задания альтернатив связей по ресурсам). Каждая альтернативная структура безызыбочна, она называется *достаточной ситуацией* в том смысле, что содержит достаточно сведений для имитации. Достаточные ситуации можно сравнивать статически (по специальным критериям качества, назначаемым каждому объекту СКМ и настраиваемым вышестоящим лицом, принимающим решение (ЛПР), путём непосредственного задания номинальных значений скалярных критериев качества объекта и допустимых относительных отклонений текущих значений критерия от номинального) и динамически (имитацией поведения ИПК при изменении входных ресурсов этой достаточной ситуации по заданным наборам значений).

С помощью критериев качества объектов, которые позволяют оценить обобщённые затраты на выработку того или иного ресурса объекта, выполняется основная операция ситуационного управления [17] - *классификация ситуаций* по признаку доминирования вклада того или иного скалярного критерия качества ОПР. В один класс включаются те ситуации, где доминирует один и тот же скалярный критерий. Внутри класса считается лучше та достаточная ситуация и соответствующая ей структура полной ситуации, в которой обобщённые затраты меньше. Так, в каждом классе находится наилучшая достаточная ситуация и структура ИПК (условно можно назвать такую ситуацию *оптимальной*, хотя она предпочтительна только при заданных значениях ресурсов). По желанию ЛПР на каждой итерации моделирования можно оставлять ИПК в текущем классе ситуаций либо переходить в другой класс, тогда система предлагает ЛПР оптимальную структуру нового класса. Причём дополнительно

<sup>1</sup> Этот термин был предложен автором в русскоязычных [20] и англоязычных [21] публикациях, но тогда распространения не получил, а сегодня он заменён функционально и семантически эквивалентным, но гораздо более расплывчатым термином *цифровой двойник* [22]. Обсуждение этого вопроса даётся в 3.2.1.

учитывается требование минимальности возмущений системы при изменении класса ситуаций. Для этого процедура классификации ситуаций изменена по сравнению с «классическим» ситуационным управлением и выполняется с помощью нормализованной модели [23], модифицированной с учётом иерархичности модели ИПК.

*Сценарием* в ССМ называется последовательность достаточных ситуаций, реализованных в ходе одного сеанса имитации, независимо от того, осуществлялось ли при этом изменение класса ситуаций. Сравнение сценариев (для одного и того же ОНР) выполняется в *обобщённом пространстве моделирования*, в которое можно включать переменные (ресурсы) любых типов, сохраняя удобные для сравнения и нормировки граничные условия, имеющие место для исходного обобщённого критерия качества ОНР.

Все исследованные сценарии сохраняются в архиве ССМ и используются в дальнейшем при поиске аналогов для ускорения подготовки принятия решений.

### 3 Выявление отказов средствами ССМ

Общая идея анализа безопасности ИПК в ССМ разработана на базе логической части логико-вероятностного подхода [24] и состоит в том, что с каждым ресурсом связываются переменные, отражающие надёжность и безопасность его получения при заданном сценарии работы ИПК, с использованием которых строятся логические модели надёжности и безопасности комплекса. Их существенное отличие от моделей [24] заключается в степени детализации: в СКМ она повышена до отдельного ресурса, а в работах И.А. Рябинина базируется на укрупнённой блок-схеме объекта моделирования. Детали расчётов приведены в [7], здесь обсуждаются только необходимые для этого модификации КП моделирования и структура онтологии проектирования *ситуационных* ЦД (СЦД) процессов СКМ, которые участвуют в моделировании безопасности.

#### 3.1 КП задач безопасности в ССМ

Анализ задач безопасности в ССМ упрощается из-за принятого при разработке модели ИПК спискового формата хранения переменных любых типов [7]. Это сделано для обеспечения дискретного подхода к построению моделей, но оказалось полезным и при учёте аспектов безопасности, поскольку исследование сценариев возникновения опасных иницирующих событий [24] всегда связано с работой экспертов, которые обычно способны оценивать лишь ограниченный набор вариантов нештатных и ЧС.

Для построения КП рассматриваемой задачи требуется выполнить такую последовательность действий со списком значений каждого потенциально опасного ресурса в СКМ:

- 1) выбрать его идеальное (с точки зрения качества работы ИПК) значение  $zn_{ид}$  (очевидно, что с точки зрения когнитивной классификации это значение соответствует объекту-прототипу некоторого класса);
- 2) упорядочить остальные возможные значения по степени их отличия от  $zn_{ид}$  и расположить их на оси КП в одну или обе стороны от идеального значения так, чтобы более отличающиеся значения были дальше от прототипа, как поступают на ординальных шкалах [25];
- 3) выбрать среди наиболее отличающихся значений те, при реализации которых ещё не может возникнуть нештатная ситуация, назвав их *экстремально допустимыми* значениями; их не более двух - верхнее и нижнее; все дальше расположенные значения относятся к *опасным значениям*, а крайние значения являются *критическими*, при которых система разрушается и возникает ЧС;

4) получить экспертные оценки степени опасности перехода системы между опасными значениями.

В результате выполнения такой процедуры шкала значений ресурса примет вид, показанный на рисунке 1, где целыми числами обозначены порядковые номера значений слева направо, символами  $k$  с подстрочными и надстрочными знаками - функционально-значимые точки шкалы значений, а символами  $\beta$  с индексами - степени опасности переходов между опасными значениями переменной.

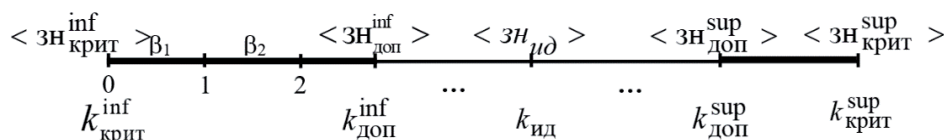


Рисунок 1 – Ось значений ресурса в КП анализа безопасности

Значения ресурса, расположенные между верхним и нижним допустимыми значениями, составляют *диапазон безопасности*, остальные значения опасны. Для расчёта степени опасности значений ресурсов, векторных состояний ИПК и различных сценариев предложены унифицированные зависимости, сохраняющие условия нормировки критерия качества и граничные условия, полезные для выявления первопричины ухудшения качества работы ОПР и возникновения нештатных ситуаций [7].

При этом используются следующие определения.

*Определение 1.* В *допустимые сценарии* не могут входить критические значения потенциально опасных ресурсов. При появлении таких значений сценарий называется *запрещённым* и реализуется только для моделирования ЧС.

*Определение 2.* *Безопасный сценарий* может включать только значения ресурсов из их диапазонов безопасности, иначе он относится к *опасным сценариям*, если не является запрещённым.

*Определение 3.* Допустимый сценарий называется *оптимальным на заданном интервале времени*, если его реализация приводит к минимуму суммы обобщённых затрат на этом интервале.

*Определение 4.* Среди опасных сценариев предпочтительнее сценарий с меньшей суммой обобщённых затрат на выработку потенциально опасных ресурсов.

Цель *стратегического моделирования* ИПК для заданного ОПР на некотором интервале времени состоит в синтезе сценария, оптимального на этом интервале, путём нахождения соответствующей последовательности достаточных ситуаций с возможностью изменения классов ситуаций по выбору ЛПР. *Оперативное моделирование* требуется, когда детектируется ухудшение качества функционирования ИПК и необходимо найти причину такого ухудшения. С этой целью в дереве объектов СКМ выявляется самый нижележащий объект, для которого нарушено граничное условие для его критерия качества, и производится диагностика его работы. Если причина ухудшения не связана с повышенными затратами на выработку входных ресурсов этого объекта, требуется корректировать сценарий его работы с помощью новой классификации ситуаций.

Принципиальное отличие КП в ССМ от традиционных приложений заключается в том, что размерность этого пространства может существенно изменяться на каждом шаге моделирования в результате принятого ЛПР решения перевести ИПК из одного класса ситуаций в другой и соответствующего изменения структуры реализации ИПК.

При появлении опасных сценариев представленный подход позволяет исследовать результативность планируемых мер предупреждения нештатных и ЧС, вводя соответствующие этим мерам изменения структуры ИПК и порождаемые ими допустимые сценарии.

На всех этапах моделирования используются СЦД процессов СКМ.

## 3.2 Онтология проектирования СЦД в ССМ

### 3.2.1 Цифровые двойники: мечты и реальность

Этому термину в научной литературе посвящено множество публикаций на различных языках. Общее согласие достигнуто в том, что ЦД – это компьютерная программа, результаты работы которой в том или ином смысле сопоставимы с результатами эксплуатации реального объекта. Для технических объектов в состав ЦД в разных источниках предлагается включать самые различные характеристики их прототипов - от 3D-моделей до расписания техобслуживания, с целью сделать ЦД полномасштабной копией прототипа, обладающей интеллектуальным интерфейсом.

Представляется, что такой подход неконструктивен и неперспективен. Вся история систем искусственного интеллекта подтверждает известный тезис: *программа работает тем эффективнее, чем уже область её компетентности*. Поэтому далее обсуждаются только СЦД, специализированные для задачи исследования безопасности ИПК. И даже для узкопрофильных ЦД необходима конкретизация и сертификация их функционального наполнения и интерфейсов.

### 3.2.2 Функции онтологии проектирования СЦД в ССМ

В рамках ССМ СЦД решают следующие основные задачи: адекватно отображать потенциально опасные воздействия вновь разрабатываемых ИПК на окружающие структуры и возможные опасные влияния последних на новую систему. Наиболее универсальной и гибкой средой представления СЦД для новых ИПК является онтология проектирования СЦД.

Поскольку каждый шаг имитационного моделирования в ССМ решает задачу Коши для некоторой подмодели СКМ, эта онтология проектирования по своим аналитическим возможностям должна быть эквивалентна уравнению состояния ИПК, т.е. корректно специфицировать динамику изменений его внутренних и выходных переменных при заданных значениях входных переменных и исходного состояния системы, в т.ч. для опасных значений переменных состояния. Необходимость разработки подобной онтологии связана с невозможностью создания ММ сложных систем, особенно на этапах их проектирования, без применения экспертных знаний.

Для каждого потенциально опасного ресурса некоторого ИПК онтология должна специфицировать все характерные точки шкалы его значений, общий вид которой показан на рисунке 1, а также показатели степени опасности переходов  $\beta_i$ . В общем случае эти показатели зависят от значений других ресурсов этого ИПК и связанных с ним каким-либо образом (электрически, географически, функционально и т.д.) других ИПК. Правила вычисления  $\beta_i$  также должны храниться в онтологии. Кроме того, каждый ресурс или группа ресурсов может вычисляться различными исполнителями (см. раздел 2) в зависимости от текущей ситуации, сложившейся в ИПК. Тогда онтология должна содержать ссылки на соответствующие программные модули исполнителей и правила перехода от одного исполнителя к другому. Аналогичная задача должна решаться и для исполнителей процессов СКМ: они почти всегда изменяются при выходе значений ресурсов за безопасный диапазон, но могут изменяться и внутри этого диапазона в зависимости от исследуемого сценария.

В зависимости от сложности моделируемого ИПК, онтологии проектирования СЦД могут создаваться как для отдельных процессов СКМ, так и для групп таких процессов, если состав этих групп не изменяется в ходе классификации ситуаций.

При совпадении типов выходных переменных онтологий проектирования СЦД некоторого ИПК с типами входных переменных другого комплекса или нескольких комплексов следует выполнить имитацию их взаимодействий при различных значениях совместных переменных, особенно при экстремальных значениях. Это позволяет выявить такие сочетания значений, которые могут привести к нештатным и ЧС, а также модифицировать онтологии на основе учёта мер предупреждения подобных ситуаций.

## Заключение

Для превентивной аналитики безопасности развития критических инфраструктур предложена онтология проектирования СЦД ИПК на основе типизации входных и выходных потенциально опасных ресурсов ИПК. Онтология предназначена для имитации взаимодействий подобных комплексов с целью количественной оценки степени опасности возникновения зависимых (сложных, каскадных) отказов и эффективности мероприятий по их предупреждению.

Описанный результат соответствует мировым тенденциям разработки гибких интеллектуальных систем моделирования проектируемых сложных объектов с целью оценки их эффективности и безопасности взаимодействий с уже существующими объектами.

Представленные процедуры превентивной аналитики безопасности целесообразно сделать этапом технико-экономического обоснования инфраструктурных проектов, чтобы снизить возможности появления зависимых отказов.

В качестве направлений дальнейших исследований по рассмотренной тематике можно предложить, в дополнение к Интернету вещей, разработать новый сектор Интернета - Интернет моделей вещей [26], для чего типизировать и стандартизировать онтологии проектирования СЦД часто встречающихся компонентов ИПК как универсальное средство интеллектуализации методов решения подобных задач [27, 28].

*До реализации инфраструктурных проектов целесообразно всесторонне исследовать их безопасность в виртуальном мире взаимодействующих моделей, для чего требуется создать гибкую среду развития этого виртуального мира.*

## Список источников

- [1] **Боргест Н.М.** Онтология проектирования: генезис и развитие // Двадцать первая Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием, КИИ-2023 (16-20 октября 2023 г., Смоленск, Россия). Труды конференции. В 2-х томах. Т.1. Смоленск: Принт-Экспресс, 2023. С.6-13.
- [2] **Попков Ю.С.** Теория макросистем: Равновесные модели. Изд. 2-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 320 с.
- [3] **Кашиникова А.П., Беляева М.Б.** Метод Монте-Карло в задачах моделирования процессов и систем // *Modern Science*. 2021. № 1-2. С.358-362.
- [4] **Котов В.Е.** Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160 с.
- [5] 68-ФЗ от 21.12.1994. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (ред. от 11.06.2021).
- [6] **Месарович М., Мако Д., Такахага И.** Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973.
- [7] **Fridman A.** Situational Modeling: Definitions, Awareness, Simulation. USA: Nova Science Publishers, Inc., 2023. 331 p. DOI: 10.52305/XIKU5849.
- [8] 116-ФЗ от 21.07.1997. О промышленной безопасности опасных производственных объектов (ред. от 04.11.2022).
- [9] 190-ФЗ от 29.12.2004. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изм. и доп. от 03.02.2023).
- [10] 304-ПП от 21.05.2007. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (ред. от 20.12.2019).
- [11] 1225-ПП от 14.08.2020. Об утверждении Правил разработки критериев отнесения объектов всех форм собственности к критически важным объектам.

- [12] *Александровская Л.Н.* и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. М.: Логос, 2001. 232 с.
- [13] *Wilson R., Crouch E.A.* Risk-benefit analysis. 2nd ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001. 490 p.
- [14] *Gärdenfors P.* Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 324 p.
- [15] *Толстова Ю.Н.* Основы многомерного шкалирования. М.: КДУ, 2006. 160 с.
- [16] *Gärdenfors P.* Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. Cambridge: MIT Press, 2014. 357 p.
- [17] *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. Изд.2. М.: URSS, 2021. 288 с.
- [18] *Marca D.A., McGowan C.L.* SADT: structured analysis and design technique. New York, NY: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1988. 392 p.
- [19] *Тыгуз Э.Х.* Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984. 256 с.
- [20] *Фридман А.Я.* Ситуационный подход к моделированию состояния пространственного объекта // Системы информационной поддержки регионального развития. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. С.45-49.
- [21] *Fridman A.Ja., Oleyunik A.G., Putilov V.A.* GIS-based Simulation System for State Diagnostics of Non-Stationary Spatial Objects // Proceedings of 12th European Simulation Multiconference (ESM'98), Manchester, UK, June 16-18, 1998. Vol.1. P.146-150.
- [22] Digital Twin: Transforming How We Make Sense of Data. <https://www.ptc.com/ru/industry-insights/digital-twin> (date of restoring 11.03.2022).
- [23] *Tversky A.* Features of similarity // Psycholog. Rev. 1977. V.84. No.4. P.327-352.
- [24] *Рябинин И.А.* Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. 276 с. ISBN 978-5-288-04296-6.
- [25] *Большаков А.А., Каримов Р.Н.* Методы обработки многомерных данных и временных рядов. М.: Горячая линия: Телеком, 2014. 218 с.
- [26] *Фридман А.Я.* Превентивная аналитика в задачах безопасности для развития критически важных инфраструктур // Нечёткие системы и мягкие вычисления. 2022. Т.17, № 2. С.39–52. DOI: 10.26456/fssc91.
- [27] *Фридман А.Я.* Опыт интеллектуализации методов ситуационного моделирования дискретных нестационарных пространственных объектов // Автоматика и телемеханика. 2022. №6. С.151-168. DOI: 10.31857/S0005231022060125.
- [28] *Лобач Д.И.* О развитии подходов системной оценки безопасности при проектировании технических систем // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №4(50). С.615-624. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-615-624.

## Сведения об авторе

**Фридман Александр Яковлевич**, 1952 г. рождения. Окончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (ЛЭТИ) в 1974 г., д.т.н. (2001), профессор (2008). В.н.с. ИИММ КНЦ РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ), Российской академии естественных наук (РАЕН). В списке научных трудов более 360 работ в области моделирования и прикладных систем искусственного интеллекта. Author ID (РИНЦ): 2047; Author ID (Scopus): 12445594600; Researcher ID (WoS): K-5576-2018. [fridman@iimm.ru](mailto:fridman@iimm.ru).



Поступила в редакцию 26.11.2023, после рецензирования 5.01.2024. Принята к публикации 15.01.2024.





## Ontology for designing situational digital twins of industrial-natural complexes for modeling their structural safety

© 2024, A.Ya. Fridman

*Institute for Informatics and Mathematical Modeling named after V.A. Putilov of the Kola Science Center RAS, Apatity, Russia*

### Abstract

The article proposes an ontology of designing specialized digital twins of spatially distributed components of industrial-natural complexes (INC) based on the theory and intellectualized situational modeling system previously developed by the author. The ontology makes it possible to study the interaction of non-stationary INCs in normal operating modes and in the event of abnormal or emergency situations. The distinguishing feature of the accomplished development lies in the possibility of the preventive security analytics for the INC integration into existing infrastructures and provides a quantitative assessment of the effectiveness of proposed measures to prevent failures of INC components, including early detection of dependent (complex, cascading) failures. In order to increase the flexibility of modeling newly created INCs, the concept of structural security is presented, which generalizes ways to take into account various known aspects of security. The relevance of this task is determined by the growth in the number and power supply of INCs in the modern world, the complication of their interactions and the corresponding increase in the possibility of the most dangerous dependent failures, as well as the growth in the volume of data available for analysis as a result of the rapid development of the Internet of Things. The novelty of the proposed approach lies in the comprehensive application of expert knowledge at all stages of modeling in a cause-and-effect paradigm in order to synthesize preferred options for implementing INC structures.

**Keywords:** *industrial-natural complex, situational analysis, structural safety, ontology of designing, situational digital twin.*

**For citation:** *Fridman AYa. Ontology for designing situational digital twins of industrial-natural complexes for modeling their structural safety [In Russian]. Ontology of designing. 2024; 14(1): 29-41. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-29-41.*

**Conflict of interests:** The author declares no conflict of interests.

### List of figures

Figure 1 - The axis of resource values in the conceptual space for the safety analysis

### References

- [1] **Borgest NM.** Ontology of designing: Genesis and development [In Russian]. Twenty-first National Conf. on artificial intelligence with international participation, KII-2023 (October 16-20, 2023, Smolensk, Russia). Proceedings of the conference. In 2 volumes. Vol.1. Smolensk: Print-Express, 2023. P.6-13.
- [2] **Popkov YuS.** Macrosystem theory: Equilibrium models [In Russian]. Ed. 2nd. M.: Book house "LIBROKOM", 2013. 320 p.
- [3] **Kashnikova AP., Belyaeva MB.** Monte Carlo method in problems of modeling processes and systems [In Russian]. Modern Science. 2021; 1-2: 358-362.
- [4] **Kotov VE.** Petri nets [In Russian]. Moscow: Nauka, 1984. 160 p.
- [5] 68-FL dated December 21, 1994. On the protection of the population and territories from natural and man-made emergencies [In Russian] (as amended on June 11, 2021).
- [6] **Mesarovic M., Mako D., Takahara I.** Theory of hierarchical multi-level systems [In Russian]. Moscow: Mir, 1973.
- [7] **Fridman A.** Situational Modeling: Definitions, Awareness, Simulation. USA: Nova Science Publishers, Inc., 2023. 331 p. DOI: 10.52305/XIKU5849.

- 
- [8] 116-FL dated July 21, 1997. On the industrial safety of hazardous production facilities [In Russian] (as amended on November 4, 2022).
- [9] 190-FL dated December 29, 2004. Town Planning Code of the Russian Federation [In Russian] (as amended and supplemented as of 02/03/2023).
- [10] 304-GD dated 05/21/2007. On the classification of natural and man-made emergency situations [In Russian] (as amended on December 20, 2019).
- [11] 1225-GD dated 08/14/2020. On approval of the Rules for the development of criteria for classifying objects of all forms of ownership as critically important objects [In Russian].
- [12] **Aleksandrovskaia LN.** et al. Statistical methods for assessing the safety of complex technical systems [In Russian]. Moscow: Logos, 2001. 232 p.
- [13] **Wilson R, Crouch EA.** Risk-benefit analysis. 2nd ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001. 490 p.
- [14] **Gärdenfors P.** Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 324 p.
- [15] **Tolstova YuN.** Basics of multidimensional scaling [In Russian]. Moscow: KDU, 2006. 160 p.
- [16] **Gärdenfors P.** Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. Cambridge: MIT Press, 2014. 357 p.
- [17] **Pospelov DA.** Situational control: theory and practice [In Russian]. 2<sup>nd</sup> edn. Moscow: URSS, 2021. 288 p.
- [18] **Marca DA, McGowan CL.** SADT: structured analysis and design technique. New York, NY: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1988. 392 p.
- [19] **Tyugu EKh.** Conceptual programming [In Russian]. Moscow: Nauka, 1984. 256 p.
- [20] **Fridman AYa.** Situational approach to modeling the state of a spatial object [In Russian]. Information support systems for regional development. Apatity: KSC RAS, 1998. P.45-49.
- [21] **Fridman AJa., Oleynik AG., Putilov VA.** GIS-based Simulation System for State Diagnostics of Non-Stationary Spatial Objects // Proceedings of the 12th European Simulation Multiconference (ESM'98), Manchester, UK, June 16-18, 1998; 1: 146-150.
- [22] Digital Twin: Transforming How We Make Sense of Data. <https://www.ptc.com/ru/industry-insights/digital-twin> (date of restoring 03/11/2022).
- [23] **Tversky A.** Features of similarity. *Psycholog. Rev.* 1977; 84(4): 327-352.
- [24] **Ryabinin IA.** Reliability and safety of structurally complex systems [In Russian]. St. Petersburg: St. Petersburg Univ. Publ., 2007. 276 p. ISBN 978-5-288-04296-6. 276 c. ISBN 978-5-288-04296-6.
- [25] **Bolshakov AA., Karimov RN.** Methods for processing multidimensional data and time series [In Russian]. Moscow: Hotline: Telecom, 2014. 218 p.
- [26] **Fridman AYa.** Preventive analytics in security problems for the development of critical infrastructures [In Russian]. *Fuzzy systems and soft computing.* 2022; 17(2): 39–52. DOI: 10.26456/fssc91.
- [27] **Fridman AYa.** Experience in intellectualizing methods for situational modeling of discrete non-stationary spatial objects [In Russian]. *Automation and telemechanics.* 2022; 6: 151-168. DOI: 10.31857/S0005231022060125.
- [28] **Lobach DJ.** On the development of approaches to system safety assessment in the design of technical systems [In Russian]. *Ontology of designing.* 2023; 13(4): 615-624. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-615-624.
- 

## About the author

**Alexander Yakovlevich Fridman** (b. 1952) graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute named after VI Ulyanov (LETI) in 1974, Doctor of Technical Sciences (2001), Professor (2008). He is a Leading Scientific Researcher of IIMM KSC RAS, a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI), and the Russian Academy of Natural Sciences (RANS). His list of scientific papers includes more than 360 publications in the field of modeling and applied artificial intelligence systems. Author ID (RSCI): 2047; Author ID (Scopus): 12445594600; Researcher ID (WoS): K-5576-2018. [fridman@iimm.ru](mailto:fridman@iimm.ru).

---

Received November 26, 2023. Revised January 5, 2024. Accepted January 15, 2024.

---



## Проектирование интеллектуальной системы управления безопасностью территорий

© 2024, В.В. Ничепорчук<sup>1,2</sup>, У.С. Постникова<sup>3</sup>, О.В. Тасейко<sup>2,3</sup>✉

<sup>1</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН (ИВМ СО РАН), Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, (СибГУ) Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (ФИЦ ИВТ), Красноярск, Россия

### Аннотация

Представлен концептуальный этап проектирования интеллектуальной системы управления безопасностью территорий. Показаны проблемы информационной поддержки управления, связанные с необходимостью обработки большого объёма неформализованных данных, их низкой достоверностью, описания объектов и процессов не имеют конструктивного характера. Слабо алгоритмированы процессы согласования и принятия решений, отсутствуют механизмы обратной связи, отражающие качество решений. В качестве альтернативы в статье предлагается использование интеллектуальных технологий, изменяющих процессы сбора, обработки и использования данных. Представлено онтологическое описание модели многоуровневого управления, формализующей основные задачи обеспечения природно-техногенной безопасности территорий. Выделены уровни и объекты управления, показано их информационное обеспечение. В основу модели положены оценки территориальных рисков, представляющие свёртку показателей комплексного мониторинга. Новизна подхода заключается в возможности обоснования видов и объёмов мероприятий с величиной рисков, а также увязки результатов управления с необходимыми ресурсами. Модель является основой проекта интеллектуальной системы. С использованием методов объектно-ориентированного программирования показан переход от онтологического описания к структурно-функциональному проектированию. Представление элементов онтологии в виде множеств позволяет строить многомерные аналитические модели, раскрывающие способы решения задач управления в конкретных условиях. Это позволяет обосновать состав информации и требования к её качеству для каждого уровня иерархии территориального управления. Приведены примеры решения задач обеспечения территориальной безопасности в соответствии с предложенной классификацией. Модель может использоваться в качестве научной основы программ цифровизации управления, реализуемых в субъектах Российской Федерации.

**Ключевые слова:** система управления, оценка рисков, безопасность, онтология, структурно-функциональное проектирование.

**Цитирование:** Ничепорчук В.В., Постникова У.С., Тасейко О.В. Проектирование интеллектуальной системы управления безопасностью территорий // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.42-54. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-42-54.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

В стратегии национальной безопасности и законодательстве в области долгосрочного планирования сформулированы базовые цели, в т.ч. обеспечение природно-техногенной безопасности, снижение рисков жизнедеятельности [1, 2]. Для достижения этих целей необходимо принятие обоснованных решений на всех уровнях иерархии территориального управления. Актуальна задача совершенствования механизмов управления, включающих анализ значительного объёма данных. Формирование решений на основе результатов машинной об-

работки необходимо выполнять в рамках ресурсных ограничений, резких изменений внешних условий, учёта социальных процессов, происходящих в обществе.

В сфере информационной поддержки управления территориями сложилась противоречивая картина. С одной стороны, собираются большие объёмы данных, повышается оперативность передачи их доведения до лиц, принимающих решения (ЛПР). С другой, компьютеризация не привела к снижению неопределённости при решении многофакторных задач управления. Значительный объём информации слабо формализован, что затрудняет применение аналитических методов и вычислительных технологий в процессах формирования решений. ЛПР используют комплексные показатели, обобщающие разнородные данные с использованием экспертных оценок. Результаты исследований, посвящённых систематизации данных, повышению их достоверности и качества не закреплены в нормативных документах [3].

Процессы подготовки управленческих решений по обеспечению безопасности регламентированы нормативными и методическими документами. Их формализация в виде бизнес-процессов необходима не только при построении информационных систем (ИС) поддержки управления, но и для выявления «слабых мест», связанных с неопределённостями принятия решений, дефицитом информации и другими факторами. Задача *оперативного управления* при возникновении опасностей относительно небольшого масштаба (например, дорожно-транспортные происшествия) имеет типовые решения, основанные на минимуме данных. Декомпозиция процессов *подготовки к циклическим чрезвычайным ситуациям (ЧС)* (например, природные пожары, весенние паводки) хорошо описана в литературе и руководящих документах [4]. *Стратегические решения* по снижению рисков, требующие анализа большого объёма информации, представляют собой конечный перечень мероприятий, для которых требуется определить ресурсоёмкость, порядок выполнения и ожидаемый эффект. При дефиците профильных экспертов в области безопасности формирование перечисленных видов решений с использованием интеллектуальных технологий анализа и представления данных позволит повысить эффективность управления территориальной безопасностью [5].

Сложность применения подходов к формированию решений с использованием языковых моделей заключается в трудоёмкости формализации принятых решений, которые необходимы для обучающей выборки. Для фильтрации ошибочных решений требуется разработка критериев качества и эффективности. Использование продукционных экспертных систем (ЭС) позволяет запрограммировать логику формирования решений. Однако в этом случае появляется проблема размерности, поскольку приемлемая детализация решений при расширении области применения ЭС требует большого количества правил, для создания которых необходимо привлекать высококвалифицированных специалистов.

Теоретические основы организации управления, изложенные в работе, необходимы для создания ИС с длительным жизненным циклом, формализации информационной поддержки при решении задач предупреждения и ликвидации ЧС. Показано функционирование иерархии Российской единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [6], позволяющее обосновать требования к содержанию данных и процессам их обработки, выявить «узкие места» автоматизации управления. Через взаимодействие элементов онтологии описаны особенности информационного обмена для коллективного принятия решений [7]. В модели управления обобщён опыт эксплуатации ИС, она является начальным этапом цифровизации функционирования экстренных служб и ситуационных центров [8]. Показана аналогия задач обеспечения безопасности в других сферах территориального управления: повышения качества жизни, устойчивого развития экономики и др. Сложность решения таких задач заключается в необходимости распределения ресурсов с учётом синергетического воздействия множества разнородных факторов, часть из которых не поддаётся точному измерению [9].

## 1 Задачи управления безопасностью

В большинстве случаев оценивание территориальных рисков осуществляется на основе данных мониторинга, представляющих статистику событий разного масштаба и генезиса, параметров окружающей среды и функционирования объектов техносферы. Реже используются характеристики объектов и инфраструктуры, сведения о системах защиты с произвольным составом показателей [10]. Такие подходы к использованию данных не снимают неопределённости управления (таблица 1). Например, различия в оценках величин ущербов сильно искажают проводимые оценки рисков. Исследователями предлагаются различные поправочные коэффициенты. Они используются для оценки опасностей территорий, на которых произошли катастрофы федерального масштаба, а также при повреждении или уничтожении застрахованного имущества [11, 12]. Однако единый подход к решению этой проблемы отсутствует.

Таблица 1 – Информационное обеспечение управления

Исходная информация	Результат работы систем	Возможные действия ЛПР
Статистика событий. Показатели, используемые для приведения характеристик $O$ к единой шкале <sup>1</sup>	Оценка рисков	Постановка задачи экспертам
Та же, дополненная детализированными характеристиками территорий	Аналитические модели	Определение мероприятий для выбранных факторов
Та же, дополненная описанием принятых решений	Решения, требующие минимального дополнения	Принятие скорректированных решений после экспертизы

Большинство задач управления решается на муниципальном и региональном уровнях управления [6]. Для оперативного реагирования требуется взаимодействие муниципальных и объектовых звеньев РСЧС. Планирование и реализация предупредительных мероприятий осуществляется совместно на региональном и муниципальном уровнях управления.

Концептуальный уровень описания предметной области представлен в виде онтологии (рисунок 1). Основные элементы онтологии – система управления  $L$  и объекты управления  $O$  логически связаны через мероприятия  $A$ , реализующие принимаемые решения. Система мониторинга  $M$  консолидирует характеристики  $O$  и их изменения. В результате формируется информационная база для оценивания рисков и формирования знаний. Сплошные стрелки указывают на потоки данных. Связь сущностей таблиц, содержащих характеристики объектов

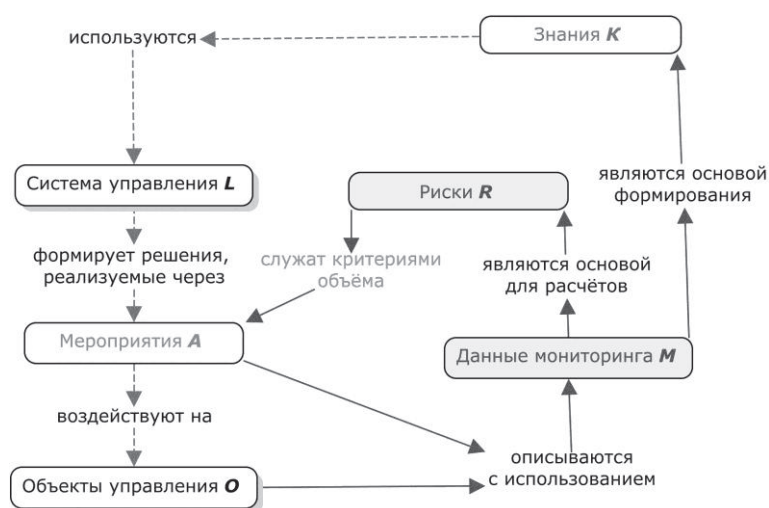


Рисунок 1 – Онтология информационной поддержки задач управления безопасностью территорий

$O$  и мероприятий  $A$ , данные мониторинга  $M$  и результаты оценки рисков  $R$ , реализуется через системообразующие элементы (справочники, реестры). Например, вид ситуации и её локализация позволяют сформировать сценарий реагирования, задействованные ресурсы и ожидае-

<sup>1</sup> Для территориальных рисков используются агрегированные характеристики, включая численность населения, количество опасных объектов, площадь лесных угодий, протяжённость транспортных коммуникаций и т.п.

мые результаты. Пунктирные стрелки показывают использование для связывания данных логических правил «Если..., То...».

Онтология предусматривает использование ситуационного и аналитического моделирования [13]. В  $R \rightarrow A$  предусмотрена обратная связь для поиска оптимума функции объём ресурсов / величина рисков. Трансформация данных в знания является самым сложным процессом. Перспективно использование методов семантического моделирования, развиваемых научной школой Л.В. Массель [14]. Применение онтологии к существующей системе управления позволяет выявить противоречия, препятствующие интеллектуализации ИС, функционирующих в органах территориального управления. Основные усилия исследователей и разработчиков направлены на увеличение объёма данных мониторинга  $O \rightarrow M$ . Цифровыми представлениями  $A \rightarrow M$ , как правило, пренебрегают. В результате мероприятия  $A$  проводятся независимо от результатов оценки рисков  $R$ . Отсутствует механизм регулярного пополнения знаний  $K$ .

Отличие предлагаемого подхода от существующих заключается в уменьшении объёма данных мониторинга за счёт *отказа от персонифицированных данных*. Актуализация и контроль таких данных занимает значительную часть времени операторов дежурных служб [15]. Согласно приказу МЧС России [16] ключевыми характеристиками безопасности муниципального образования являются контактные данные руководящего состава, необходимые для информирования и оповещения. Системный анализ процессов реагирования на ЧС и стратегического управления безопасностью территорий показал, что решения, реально изменяющие проблемную ситуацию, формируются небольшим числом ЛПР. Для их оповещения достаточно телефонов диспетчерских служб, не требующих актуализации.

Вместе с тем, данные о наличии ресурсов, способности выполнить мероприятия определённого вида актуализируются *с меньшей интенсивностью*. Изменение регламентов и содержания отчётности позволяет сосредоточиться на повышении достоверности данных, востребованных многими ведомствами. Сценарии управления, в которых возникают временные задержки из-за незнания фамилий/телефонов руководителей, не являются катастрофичными, поскольку в экстренных службах, на предприятиях, организациях имеются диспетчерские подразделения.

## 2 Декомпозиция элементов модели

Следующим этапом проектирования ИС является детализация элементов онтологии. Для этого удобна терминология объектно-ориентированного программирования. Если представить онтологию в виде класса, то элементы составляющих её множеств есть экземпляры класса. Каждый экземпляр реализуется в виде отдельного модуля, с конкретным набором информационных ресурсов и технологий их обработки. Количество экземпляров определяется сочетаниями основных и дополнительных элементов онтологии (таблица 2).

В режиме повседневного управления  $t_1$  на уровне  $l_3$  выполняются профилактические и надзорные мероприятия, запланированные на уровнях  $l_0-l_2$ . Происходит сбор информации  $m_2$  для решения задач управления в режимах  $t_2-t_4$ . Поскольку формирование управляющих воздействий в  $t_1$  минимально, основные усилия специалистов  $l_0-l_1$  сосредоточены на моделировании  $M \rightarrow R \rightarrow A$  и трансформации данных  $M \rightarrow R \rightarrow K$ .

Режим оперативного управления  $t_2$  наиболее полно представлен в различных программных системах [17]. Результаты моделирования опасных ситуаций используются в подавляющем большинстве случаев на уровне  $l_3$ . Задачи управления для масштабных ЧС включают организацию взаимодействия  $O_3$  (уровень  $l_2$ ) и логистику распределения формирований и ресурсов  $O_3$  (уровень  $l_1$ ). При этом ликвидация опасных факторов описывается через взаи-

модействии  $O_3 \rightarrow O_1$ , ликвидация последствий, снижение воздействия опасных факторов и организация мероприятий по защите населения как  $O_3 \rightarrow O_2$ . В работе [18] предложены критерии масштаба ситуации в зависимости от сложности управления. Действующие нормы [11] оценивают его по размеру потерь, но оставляют неопределёнными зоны ответственности для уровней  $l_i$  и акторов управления. Это приводит к необходимости сбора и обработки большого объёма избыточной информации, расходу ресурсов на её обработку (в т.ч. в ИС) без использования в виде оформленных решений.

Таблица 2 – Элементы множеств онтологии

Множество	Элементы	Комментарий
<b>Основные элементы</b>		
Система управления $L$	региональный уровень управления $l_1$ ; муниципальный уровень управления $l_2$	Для базовой версии ИС. Экземпляры уровней $l_0$ (федеральный) и $l_3$ (поселение, объект) требуют дополнительного проектирования
Объекты управления $O$	опасности $O_1$ ; защищаемые объекты $O_2$ ; система обеспечения безопасности $O_3$	В $O_1$ включены управляемые факторы техногенных и природных опасностей; $O_3$ – это формирование РСЧС, располагаемые ресурсы
Мероприятия $A$	разовые $a_1$ ; периодические $a_2$ ; поддержка функционирования объектов с длительным жизненным циклом $a_3$	Полный перечень мероприятий формируется на основе нормативных, методических и отчётных документов
Данные мониторинга $M$	консолидируемые в автоматическом режиме $m_1$ ; отчётные, заполняемые вручную $m_2$	Возможны другие классификации: по источникам данных, форматам, регламенту актуализации и т.д.
Риски $R$	аварийные $r_1$ ; перманентные $r_2$	К $r_2$ относятся природные и социальные риски с отложенным эффектом
Знания $K$	приобретённые машинным обучением $k_1$ ; сформированные инженерами по знаниям и экспертами $k_2$	В ИС предполагается симбиоз $k_1$ и $k_2$
<b>Дополнительные элементы</b>		
Виды управления $T$	повседневное $t_1$ ; оперативное $t_2$ ; стратегическое $t_3$ ; сезонное (циклическое) $t_4$	Для каждого $t_i$ рассматривается свой экземпляр онтологии
Виды ситуаций $H$	Группировка ведомственных перечней рисков в зависимости от $t_i, l_j$	Детально в проекте ИС рассмотрены базовые риски. Понятие введено в [5]
Показатели $P$	Данные $m_i$ , описывающие характеристики $O, A, R$	Полный состав $p_j$ определяет основную часть информационных ресурсов ИС

Основной целью проектируемой ИС является поддержка задач стратегического управления  $t_3$ . Если для  $t_2$  основным назначением программных систем является снятие неопределённостей в управлении за минимальное время, то в  $t_3$  необходимо согласованное принятие решений несколькими уровнями управления  $l_i$ , а также обработка большого объёма информации  $M$ . Расчёт рисков  $R$  трудоёмок, носит субъективный характер и, как правило, невозпроизводим независимыми группами экспертов. По этой причине для обоснования долгосрочных и дорогостоящих мероприятий  $A$  используются приблизительные оценки. Низкое качество отчётности  $A \rightarrow M$  приводит к затруднению оценок  $M \rightarrow R$  на основе обратной связи.

Например, мероприятия  $A$  целевой программы «Защита от ЧС природного и техногенного характера и обеспечение безопасности населения Красноярского края» предусматривают создание противопожарных водоёмов, минерализованных полос, содержание водоисточников, монтаж и модернизацию систем противопожарной сигнализации и т.п. Однако результаты реализации противопожарных мероприятий затруднительно оценить по статистическим данным о техногенных и бытовых пожарах. Косвенная информация, например, о динамике реагирования и тушения, позволяет сделать приблизительные выводы о несоблюдении нормативов, являющемся следствием неэффективных предупредительных мер [19].

Внедрение в органы государственной власти и местного самоуправления программ и инструментов сбора и анализа информации об объектах и процессах в сфере территориальной безопасности увеличило доступность представления проблемных ситуаций, требующих управленческих действий. При этом основной акцент сделан на создание и рассылку новых отчётов, аналитических докладов и т.п. Однако для повышения качества подготовки и обоснования решений нужен пересмотр состава информации. Вместо оценки последствий ЧС приоритетным является исследование факторов, определяющих вероятность и масштаб событий, а также возможности по управлению факторами [20].

Проект ИС поддерживает формальный процесс выработки согласованных решений на нескольких уровнях управления. В практике территориального управления практически все решения по предупреждению опасных явлений и процессов  $t_3$ , а также по реагированию на масштабные ситуации  $t_2$ , принимаются совместно несколькими уровнями управления  $L$  с учётом принятых ранее. Например, рекомендации по выбору способов реагирования и объёмов расходуемых ресурсов определяются федеральными и региональными нормативными актами (уровни  $l_0, l_1$ ), которые в данной модели также считаются решениями по управлению. Новые решения нижних уровней  $l_2, l_3$  принимаются с учётом этих ограничений. В свою очередь, решения верхних уровней  $l_0, l_1$  основаны на анализе данных статистики событий и описания крупных катастроф. Эти данные отражают результаты работы  $l_2, l_3$ .

Информационное обеспечение задач сезонного управления  $t_4$  несколько проще, чем в случае управления стратегического  $t_3$ . Во-первых, из-за относительно небольшого количество видов  $H$  сокращается размерность исследуемого пространства решений. Во-вторых, используются результаты ранжирования территории по степени опасности на основе данных мониторинга  $M$ . В-третьих, для долгосрочных прогнозов используются экстраполяции на основе оценок реализованных рисков [21, 22].

Например, при подготовке к прохождению весеннего половодья в регионах Сибири подготавливается несколько сценариев разного масштаба и вероятности реализации. Оценивается потребность территорий в ресурсах при максимально неблагоприятном сценарии, выстраивается логистика, проводятся учения. По мере приближения опасного периода уточняется гидрологический прогноз, детализируются мероприятия. Решение задачи  $t_4$  приобретает типовой характер, а машинные модели описывают реальность с приемлемой точностью.

Множество аналитических измерений  $A, O, M, K$  можно представить в виде гиперкуба. Исследование разных аналитических срезов куба позволяет детализировать процессы решения конкретной задачи управления: определить акторов, структуру информации, используемые ситуационные модели, представление результатов и др. Примеры комплексных аналитических моделей:

- оценка изменения защищённости  $O_2$  при проведении мероприятия  $a_i$ ;
- обоснование состава показателей  $m_x$  при управлении  $t_y$ ;
- выбор способов трансформации  $m_x$  для минимизации неопределённостей в принятии решений  $(l_j, t_y)$ ;
- изменение алгоритмов управления при возникновении новых рисков (таких, как COVID-19 и др.).

### 3 Процесс формирования решений

Работа модели управления показана на рисунке 2.

На этапе 1 полный список видов опасностей для населения и территорий классифицируется по степени значимости. По критерию потерь выделяются базовые риски территорий, уменьшение которых является целью управления. Часть базовых рисков  $R_b$  характерна для



всех территорий России (например, техногенные и бытовые пожары). Вероятность и масштаб проявления других  $R_b$  зависят от географических, климатических и экономических характеристик территорий. Если решается задача  $t_4$ , то базовые риски заменяются на циклические, набор которых также уникален для каждой территории. Для  $t_1$  также характерен набор рисков, в отношении которых реализуются мероприятия  $A$ .

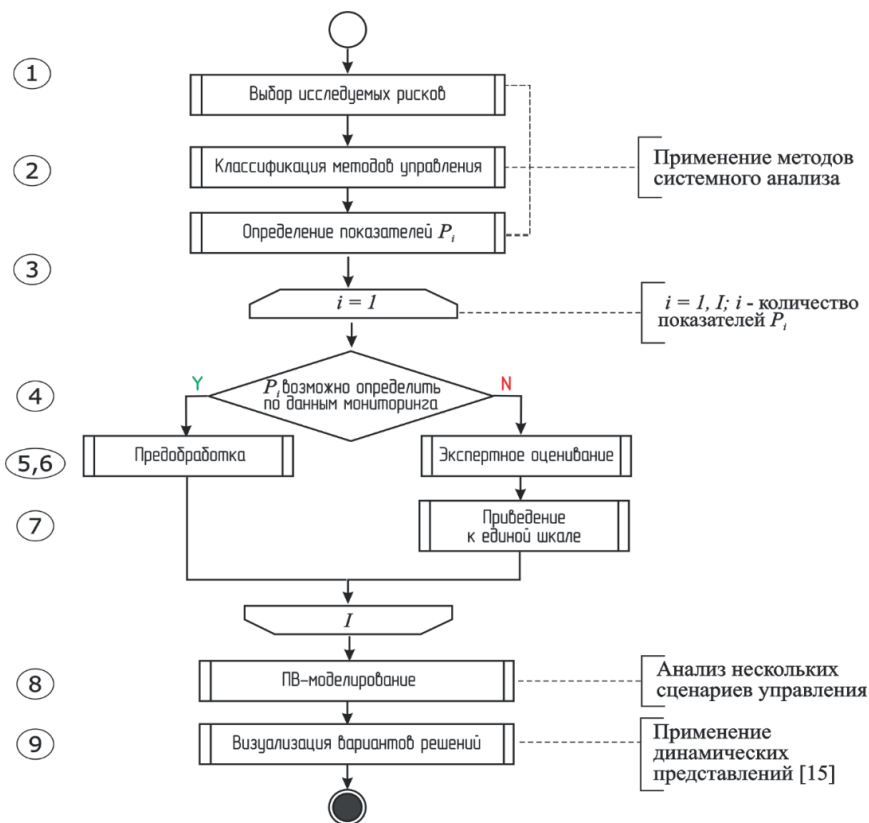


Рисунок 2 – Схема процесса управления безопасностью территорий

Далее следует процесс классификации методов управления (этап 2). Результаты решения задачи  $t_3$  заключаются либо в гарантированном снижении рисков, либо в приведении в соответствие характеристик объектов нормативам безопасности, установленным законодательно. Примеры показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Примеры управления базовыми рисками территорий Сибири

Виды ситуаций	Содержание оценок $R$	Цели реализации мероприятий $A$
Пожары техногенные	Распределение событий по показателям $P$ для каждой территории	Выполнение нормативов [23]
Затопления	Ранжирование территорий по рискам. Долгосрочный прогноз на основе экстраполяции	Гарантированное повышение защищённости территорий
Пожары природные	Ранжирование территорий по степени опасности и вероятности возникновения масштабных событий	Выполнение нормативов [24]
Аварии систем ЖКХ	Ранжирование инфраструктуры по степени износа, нагрузкам, возможным последствиям и другим факторам	Выполнение нормативов [25]
Транспортные аварии	Ранжирование участков по аварийности	Выполнение нормативов [26]
Загрязнение окружающей среды	Оценка последствий для здоровья с учётом временного лага. Долгосрочный прогноз на основе экстраполяции	Снижение заболеваемости до приемлемых значений [27]

Небольшой перечень целей превентивного управления рисками, приведённый в правом столбце таблицы 3, показывает актуальность работ по двум направлениям: поиск новых методов и технологий, кардинально снижающих потери и вероятность возникновения опасных событий; системный подход к выполнению установленных нормативов, тиражирование лучших практик, уменьшение расходуемых ресурсов для достижения желаемого эффекта.

В задачах повседневного управления  $t_1$ , как правило, перечень рисков и мероприятий постоянный. Поэтому второй этап пропускается, а остальные используются для обоснования объёмов проводимых мероприятий.

Важнейшим этапом информационной поддержки управления является определение показателей  $P$  (этапы 3-7) [28]. Примерно половина из них – объективные, т.е. полученные в результате мониторинга, обследований, геоинформационного моделирования. Социальные и комплексные показатели рисков, например, уровень урбанизации территорий, качество жизни устанавливаются экспертными методами. Результаты затратных социологических опросов, используемые для оценки уровня безопасности населения, не всегда достоверны [29].

После формирования статистически значимой информационной базы и унификации логических связей между сущностями проводится аналитическое моделирование наиболее эффективных управленческих воздействий по критериям потребность/возможность. При этом потребность определяется уровнем риска  $R$ , а возможность – наличием финансовых, материальных, интеллектуальных ресурсов, логически связанных с мероприятиями  $A$ .

Количественное выражение величины территориальных рисков  $R$  как функции от объёма ресурсов, затраченных на мероприятия, позволяет:

- оценить возможный эффект мероприятий, планируемых при заданном ресурсе, выраженный через  $R$  (потенциальный);
- обосновать ресурсы для достижения заданного уровня  $R$ ;
- оценить полученный эффект от мероприятий по соотношению  $R$  (реализованный) к затраченным ресурсам.

Заключительный этап машинного формирования решений – выбор способа визуализации результатов: интерактивные таблицы, динамические карты, инфографика. При решении задач  $t_3$  применяются также альтернативные методы визуализации многомерных данных, такие как метод главных компонент, метод упругих карт [30].

Наличие обратной связи, когда выполненные решения записываются в информационную базу, позволяет моделировать не только разные сценарии, но и принятые решения. Предполагается проведение декомпозиции принятых управленческих решений до уровня показателей мониторинга. Решение этой задачи позволит сформировать количественные критерии эффективности управления и верификации решений.

## Заключение

Изложенный подход к информационной поддержке управления сложными системами имеет универсальный характер. Для решения задач управления территориями требуется анализ большого числа разнородных показателей. Ранжирование территорий по степени пожарной опасности на основе только статистических данных недостаточно информативно.

Современные информационные технологии в сочетании с междисциплинарными системными исследованиями позволяют учесть значительное количество социальных и экономических факторов, влияние внешней среды, настраивать долгосрочные стратегии обеспечения безопасности и развития территорий.

Авторами использован риск-ориентированный подход для рационального управления безопасностью территорий с учётом изменения их характеристик. Концептуальные подходы

к построению модели управления, изложенные в работе, планируется использовать для модернизации эксплуатирующихся в Красноярском крае программных систем и создания мультизадачной интеллектуальной платформы.

### Список источников

- [1] Указ Президента РФ от 02.07.2021 N 400 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации". [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_389271/?ysclid=lox3usbq75200320074](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/?ysclid=lox3usbq75200320074).
- [2] Федеральный закон "О стратегическом планировании в Российской Федерации" от 28.06.2014 N 172-ФЗ [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_164841/?ysclid=lox3wuj28u314694680](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164841/?ysclid=lox3wuj28u314694680).
- [3] **Онов В.А., Панкратова М.В., Остудин Н.В.** Информационные аспекты в системе антикризисного управления МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2021. № 2. С.116-124.
- [4] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 08.07.2014 г. № 313 «Об утверждении правил тушения лесных пожаров». Зарегистрировано в Минюсте России 8 августа 2014 г. № 33484.
- [5] **Махутов Н.А.** Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука, 2017. 724 с.
- [6] Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 (ред. от 16.02.2023) «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
- [7] **Жирков П.А., Иванов А.В., Раевская М.Г.** О правовом регулировании функционирования и развития информационно-технологической основы межведомственного информационного взаимодействия // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2017. № 6. С.14-25.
- [8] **Фридман А.Я., Кулик Б.А.** Ситуационная концептуальная модель для системы ситуационных центров / Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. Материалы VI Всероссийской Пospelовской конференции с международным участием. Калининград, 2022. С.213-220.
- [9] **Antonelli A., Smith R. J., Simmonds M.S.J.** (2019). Unlocking the properties of plants and fungi for sustainable development. *Nature Plants* 5:1100-1102. DOI: 10.1038/s41477-019-0554-1.
- [10] **Фалеев М.И., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В.** Методология и технология дистанционной оценки риска // Российскому научному обществу анализа риска 15 лет: основные итоги и перспективы деятельности. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. 2018. С.123-136.
- [11] Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. №304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- [12] **Авдоткин В.П., Дзыбов М.М., Самсонов К.П.** Оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. 468 с.
- [13] **Боргест Н.М., Симонова Е.В.** Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию. Самара, Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. 80 с.
- [14] **Массель Л.В., Массель А.Г.** Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // III междунар. научно-технич. конф. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Минск Белоруссия. 21-23 февраля 2013. С.247-250.
- [15] Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.7.01-2021. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единая дежурно-диспетчерская служба. Основные положения» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 января 2021 г. № 25-ст.
- [16] Приказ МЧС России от 28 сентября 2021 г. №639 «Об утверждении типового паспорта безопасности территорий субъектов РФ и муниципальных образований».
- [17] **Измалков В.А.** Современные тенденции развития программного и других видов обеспечения АИУС РСЧС // Технологии гражданской безопасности. 2018. Т.15. №4(58). С.48-51.
- [18] **Трофимова Н.В., Антамошкин О.А., Антамошкина О.А., Ничепорчук В.В.** Система поддержки принятия решений по реагированию на ЧС и происшествия на опасных производственных объектах // Технологии гражданской безопасности. 2011. Т.8. №4(30). С.64-70.
- [19] **Бабёнышев С.В., Бойко Г.М., Малиутин О.С., Матеров Е.Н.** Применение геоинформационных инструментов для работы с большими данными при анализе пространственного распределения пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2021. №2. С.70-77. DOI:10.34987/vestnik.sibpsa.2021.47.69.013.
- [20] **Махутов Н.А.** Безопасность и защищённость сложных технических систем от аварий и катастроф в рамках риск-ориентированного подхода / Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участи-

- ем «Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем». Новосибирск: ФИЦ ИВТ. 2023. С.11-15.
- [21] **Бураков Д.А., Иванова О.И.** Анализ формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесных и лесостепных бассейнах рек Сибири // Метеорология и гидрология. 2010. № 6. С.87-100.
- [22] **Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.** Управление пожарами растительности на особо охраняемых природных территориях. Новосибирск: СО РАН, 2020. 201 с.
- [23] Федеральный закон от 01.04.2010 № 123-ФЗ «Технический регламент пожарной безопасности».
- [24] Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 №200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023). Статья 53.1.
- [25] Постановление Госстроя РФ от 27 сентября 2003 г. №170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда». Часть V. Техническое обслуживание и ремонт инженерного оборудования.
- [26] Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 №15).
- [27] Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. №16).
- [28] **Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Гутарев С.В., Котосонов А.С., Верескун А.В.** Методический подход к вычислению интегрального индекса, характеризующего состояния системы мероприятий по подготовке к защите и по защите населения, материальных и культурных ценностей на территории субъекта Российской Федерации от опасностей, возникающих при ЧС природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т.17. №3(65). С.7-14.
- [29] **Мельник А.А., Антонов А.В., Мартинович Н.В.** Результаты исследования информированности и подготовленности населения субъектов Российской Федерации в области безопасности жизнедеятельности в 2018 году и рекомендации по совершенствованию профилактической работы // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. №1(12). С.74-247.
- [30] **Gorban A.N., Pitenko A.A., Zinovyev A.Y., Wunsch D.C.** Visualization of any data using elastic map method. *International Journal of Smart Engineering System Design*. 2001. V.11: 363.

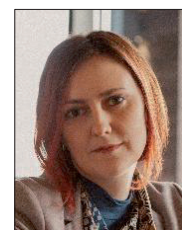
## Сведения об авторах

**Ничепорчук Валерий Васильевич**, 1969 г. рождения. Окончил Красноярский государственный университет (КрасГУ) в 1992 г., д.т.н. (2022). Профессор кафедры информационно-управляющих систем СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, с.н.с. ИВМ СО РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 200 работ в области оценки рисков ЧС и принятия решений. Author ID (РИНЦ): 155773; Author ID (Scopus): 36651388300; Researcher ID (WoS): K-8028-2015. [valera@icm.krasn.ru](mailto:valera@icm.krasn.ru).



**Постникова Ульяна Сергеевна**, 1992 г. рождения. Окончила Сибирский федеральный университет в 2014 г., к.т.н. (2023). Научный сотрудник ФИЦ ИВТ. В списке научных трудов более 60 работ в области оценки территориальных природно-техногенных рисков. ORCID: 0000-0002-1535-3576; Author ID (РИНЦ): 956613; Author ID (Scopus): 58033620200. [ulyana-ivanova@inbox.ru](mailto:ulyana-ivanova@inbox.ru).

**Тасейко Ольга Викторовна**, 1978 г. рождения. Окончила КрасГУ в 2001 г., к.ф.-м.н. (2007). Заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, с.н.с. ФИЦ ИВТ. В списке научных трудов около 150 работ в области оценки территориальных рисков, математического моделирования процессов в окружающей среде. Author ID (РИНЦ): 127820; Author ID (Scopus): 23971808700; Researcher ID (WoS): P-8716-2016. [taseiko@gmail.com](mailto:taseiko@gmail.com). ✉



Поступила в редакцию 05.12.2023, после рецензирования 10.01.2024. Принята к публикации 23.01.2024.



## Designing an intelligent territorial safety management system

© 2024, V.V. Nicheporchuk<sup>1,2</sup>, U.S. Postnikova<sup>3</sup>, O.V. Taseiko<sup>2,3</sup>✉

<sup>1</sup> Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Federal Research Center of Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk, Russia

### Abstract

The conceptual stage of designing an intelligent territorial safety management system is presented. The article shows the problems of information support for management associated with the need to process a large volume of unformalized data and their low reliability. Existing descriptions of objects and processes are not constructive. The approval and decision-making processes are poorly algorithmized and there are no feedback mechanisms reflecting the quality of decisions. As an alternative, the article proposes the use of intelligent technologies that change the mechanisms for collecting, processing and using data. An ontological description of a multi-level management model is presented that formalizes the main tasks of ensuring the natural and technogenic security of territories. Management levels and objects are highlighted, and their information support is shown. The model is based on assessments of territorial risks, representing a combination of comprehensive monitoring indicators. The novelty of the approach lies in the possibility of justifying the types and volumes of activities with the magnitude of risks, as well as linking management results with the necessary resources. The model is the basis of the intelligent system project. Using object-oriented programming methods, the transition from ontological description to structural and functional designing is shown. Representation of ontology elements in the form of sets allows the construction of multidimensional analytical models that reveal ways to solve management problems in specific conditions. This makes it possible to justify the composition of information and the requirements for its quality for each level of the territorial management hierarchy. Problem solving examples of ensuring territorial safety in accordance with the proposed classification are given. The model can be used as a scientific basis for management digitalization programs implemented in the constituent entities of the Russian Federation.

**Keywords:** management system, risk assessment, safety, ontology, structural and functional design.

**For citation:** Nicheporchuk VV, Postnikova US, Taseiko OV. Designing an intelligent territorial safety management system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(1): 42-54. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-42-54.

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

### List of figures and tables

Figure 1 - Ontology of information support for territorial safety management tasks

Figure 2 - Scheme of the territorial safety management process

Table 1 - Information management support

Table 2 - Elements of ontology sets

Table 3 - Examples of basic risk management in Siberia

### References

- [1] Decree of the President of the Russian Federation dated 07/02/2021 No. 400 "On the National Security Strategy of the Russian Federation" [In Russian]. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_389271/?ysclid=lox3usbq75200320074](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/?ysclid=lox3usbq75200320074).
- [2] Federal Law "On Strategic Planning in the Russian Federation" dated 06/28/2014 No. 172-FZ [In Russian]. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_164841/?ysclid=lox3wuj28u314694680](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164841/?ysclid=lox3wuj28u314694680).
- [3] *Onov VA, Pankratova MV, Ostudin NV*. Information aspects in the anti-crisis management system of EMERCOM OF Russia [In Russian]. *Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*, 2021; 2: 116-124.

- [4] Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated 07/08/2014 No. 313 "On approval of the rules for extinguishing forest fires" [In Russian]. Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on August 8, 2014 No. 33484.
- [5] **Makhutov NA**. Safety and risks: system research and development. Novosibirsk: Nauka. 2017. 724 p.
- [6] Decree of the Government of the Russian Federation dated 12/30/2003 No. 794 (ed. dated 02/16/2023) "On the Unified State System for the prevention and liquidation of emergency situations".
- [7] **Zhirkov PA, Ivanov AV, Raevskaya MG**. About the legal regulation of functioning and development of the information-technological basis of interagency information interaction [In Russian]. Safety and emergency situations. 2017; 6: 14-25.
- [8] **Friedman AYA, Kulik BA**. Situational conceptual model for a system of situational centers / Hybrid and synergetic intelligent systems [In Russian]. Materials of the VI All-Russian Pospelov Conference with international participation. Kaliningrad, 2022: 213-220.
- [9] **Antonelli A, Smith RJ, Simmonds MSJ**. Unlocking the properties of plants and fungi for sustainable development. Nature Plants 2019; 5: 1100-1102. DOI: 10.1038/s41477-019-0554-1.
- [10] **Faleev MI, Oltyan IYu, Aref'ieva EV, Bolgov MV**. A Methodology and Technology for Risk Assessment Based on Open Data [In Russian]. The Russian Scientific Society for Risk Analysis is 15 years old: the main results and prospects of its activities. Moscow: All-Russian Research Institute on Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018: 123-136.
- [11] Decree of the Government of the Russian Federation dated May 21, 2007 No. 304 "On the classification of natural and man-made emergency situations " [In Russian].
- [12] **Avdotyin VP, Dzybov MM, Samsonov KP**. Assessment of damage from natural and man-made emergencies [In Russian]. Moscow: Federal State Budgetary Research Institute of GOChS (FC), 2012. 468 p.
- [13] **Borgest NM, Simonova EV**. Fundamentals of building multi-agent systems using ontology [In Russian]. Samara, Samara State Aerospace Publishing House. 2009. 80 p.
- [14] **Massel LV, Massel AG**. Semantic technologies based on the integration of ontological, cognitive and event modeling [In Russian]. III international scientific and technical conf. Open semantic technologies for designing intelligent systems. Minsk Belarus. February 21-23, 2013: 247-250.
- [15] The national standard of the Russian Federation GOST R 22.7.01-2021. "Safety in emergency situations. Unified duty and dispatch service. Basic provisions" (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated January 27, 2021 No. 25-art. [In Russian].
- [16] Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated September 28, 2021 No. 639 "On approval of the standard safety data sheet for territories of subjects of the Russian Federation and municipalities" [In Russian].
- [17] **Izmalkov VA**. Modern trends in the development of software and other types of AIUS RSCHS software [In Russian]. Technologies of civil security. 2018; 15(4): 48-51.
- [18] **Trofimova NV, Antamoshkin OA, Antamoshkina OA, Nicheporchuk VV**. Decision support system for emergency response and incidents at hazardous production facilities [In Russian]. Civil security technologies. 2011; 8(4): 64-70.
- [19] **Babensyshev SV, Boyko GM, Malyutin OS, Materov EN**. Application of geoinformation tools for working with big data in the analysis of spatial distribution of fires [In Russian]. Siberian Fire and Rescue Bulletin". 2021; 2: 70-77. DOI:10.34987/vestnik.sibpsa.2021.47.69. 013.
- [20] **Makhutov NA**. Safety and security of complex technical systems from accidents and catastrophes within the framework of a risk-based approach [In Russian]. Proceedings of the VIII All-Russian Conference with international participation "Safety and monitoring of natural and man-made systems". Novosibirsk: FRS ICT, 2023: 11-15.
- [21] **Burakov DA, Ivanova OI**. Analysis of formation and forecast of spring flood runoff in forest and forest-steppe basins of Siberian rivers [In Russian]. Meteorology and hydrology. 2010; 6: 87-100.
- [22] **Volokitina AV, Sofronova TM, Korets MA**. Vegetation fire management in specially protected natural areas [In Russian]. Novosibirsk, 2020. 201 p.
- [23] Federal Law No. 123-FZ dated 1.04.2010 "Technical Regulations for Fire Safety" [In Russian].
- [24] The Forest Code of the Russian Federation dated 04.12.2006 N 200-FZ [In Russian]. (as amended on 08/04/2023) (with amendments and additions, intro. effective from 09/01/2023). Article 53.1.
- [25] Resolution of the State Construction Committee of the Russian Federation dated September 27, 2003 No. 170 "On approval of the Rules and norms of technical operation of the housing stock". Part V. Maintenance and repair of engineering equipment [In Russian].
- [26] A summary of the national project "Safe and high-quality highways" [In Russian]. (approved by the Presidium of the Presidential Council for Strategic Development and National Projects, Protocol No. 15 dated 12/24/2018).

- [27] A summary of the national project "Healthcare" [In Russian]. (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, Protocol No. 16 dated December 24, 2018).
- [28] **Oltyan IYu, Aref'eva EV, Gutarev SV, Kotosonov AS, Vereskun AV.** Methodological approach to the integral index calculating characterizing the state of system measures to prepare for the protection and to protect the population, material and cultural values from hazards arising from natural and man-made emergencies on the territory of the Russian Federation subject [In Russian]. *Civil Security Technology*, 2020; 17.3(65): 7-14.
- [29] **Melnik AA, Antonov AV, Martinovich NV.** The results of the study of awareness and preparedness of the population of the subjects of the Russian Federation in the field of life safety in 2018 and recommendations for improving preventive work [In Russian]. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2019; 1: 74-247 p.
- [30] **Gorban AN, Pitenko AA, Zinovyev AY, Wunsch DC.** Vizualization of any data using elastic map method. *International Journal of Smart Engineering System Design*. 2001; 11: 363.
- 

### About the authors

**Valery Vasilyevich Nicheporchuk** (b. 1969) graduated from the Krasnoyarsk State University in 1992, Doctor of Technical Sciences (2022). Professor of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, a senior researcher at the Institute of Computational Modelling SB RAS. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAII). The list of scientific papers includes more than 200 works in the field of emergency risk assessment and DSS construction. Author ID (RSCI): 155773; Author ID (Scopus): 36651388300; Researcher ID (WoS): K-8028-2015. [valera@icm.krasn.ru](mailto:valera@icm.krasn.ru).

**Ulyana Sergeevna Postnikova** (b. 1992) graduated from the Siberian Federal University in 2014, Ph.D. (2022). Researcher at the Federal Research Center for Information and Computing Technologies. The list of scientific papers includes more than 60 works in the field of territorial risk assessments. ORCID: 0000-0002-1535-3576; Author ID (RSCI): 956613; Author ID (Scopus): 58033620200. [ulyana-ivanova@inbox.ru](mailto:ulyana-ivanova@inbox.ru).

**Olga Viktorovna Taseiko** (b. 1978) graduated from the Krasnoyarsk State University in 2001, Ph.D. (2007). Head of the Department of Life Safety of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, a senior researcher at the Federal Research Center of Information and Computing Technologies. The list of scientific papers includes about 150 works in the field of territorial risk assessments, mathematical modelling in the environment. Author ID (РИИЦ): 127820; Author ID (Scopus): 23971808700; Researcher ID (WoS): P-8716-2016. [taseiko@gmail.com](mailto:taseiko@gmail.com). ✉.

---

Received December 5, 2023. Revised January 10, 2024. Accepted January 23, 2024.

---



## Проектирование информационной системы комплексного тематического анализа больших данных социальных медиа

© 2024, А.М. Фёдоров, И.О. Датъев ✉, И.Г. Вишняков

*Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова  
Кольского научного центра РАН (ИИММ КНЦ РАН), Апатиты, Россия*

### Аннотация

Открытые сообщества пользователей в социальных медиа являются источником данных, оперативно представляющим тематическую повестку актуальных для населения вопросов. Индикаторы активности пользователей - просмотры, комментарии и репосты - обладают динамической природой. В статье представлен новый взгляд на задачи тематического моделирования, результаты которого исследуются на наличие динамических свойств. Эти данные актуальны для решения задач информационной поддержки регионального и муниципального развития. Представлен опыт проектирования информационной системы комплексного тематического анализа больших открытых данных социальных медиа. Система основана на использовании трёх технологий: построения динамических тематических моделей для мониторинга социальных медиа; интеллектуального анализа результатов тематического моделирования объектов и процессов социальных медиа; когнитивной визуализации результатов динамического тематического моделирования. Для учёта проектной неопределённости использованы средства объектного моделирования, системного проектирования и модульный подход.

**Ключевые слова:** управление региональным развитием, информационно-аналитические системы, сообщества социальных сетей, анализ данных, тематическое моделирование.

**Цитирование:** Федоров А.М., Датъев И.О., Вишняков И.Г. Проектирование информационной системы комплексного тематического анализа больших данных социальных медиа // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С. 55-70. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-55-70.

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

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Проникновение в повседневную жизнь и доступность социальных медиа обуславливает интерес властных структур, представителей бизнеса и общественных организаций к размещённой там информации. Пользователи социальных медиа оперативно реагируют на актуальные для населения вопросы. Основные компоненты содержания: тексты и индикаторы активности пользователей - просмотры, комментарии и репосты - обладают динамической природой. Следует подчеркнуть важность исследования этой динамичности, которая характеризует стремления пользователей, что необходимо для прогнозирования развития социума и соответствующих вариантов отклика со стороны органов управления. Эти данные отражают интересы и настроения людей в режиме реального времени и представляют большую ценность для задач информационной поддержки принятия решений при региональном и муниципальном управлении.



В работе представлен опыт проектирования информационной системы комплексного тематического анализа больших открытых данных социальных медиа. Рассматриваются концептуальные основы исследования динамических свойств результатов тематического моделирования (ТМ) и технологии, составляющие архитектурный каркас системы: построения динамических тематических моделей (ТМь) для мониторинга социальных медиа; интеллектуального анализа результатов ТМ объектов и процессов социальных медиа; когнитивной визуализации результатов динамического ТМ. Для учёта проектной неопределённости [1] и повышения доступности информации лицам, готовым к выполнению познавательно-деятельных функций, [2] использован модульный подход.

## 1 Методы и меры для исследования динамических свойств результатов ТМ

В [3] отмечено, что впервые в формальной постановке задача обнаружения и отслеживания тем упомянута в отчёте [4].

ТМь - модель коллекции текстовых документов, которая определяет: к каким темам относится каждый документ коллекции и какие слова (термины) образуют каждую тему [5]. Под темой понимается набор слов, а не названия, схожие с заголовками научной статьи или элементами классификаторов типа универсальной десятичной классификации. ТМ — построение ТМь. Динамическое ТМ представляет собой способ построения ТМь, позволяющий учитывать временную компоненту для выявления и отслеживания истории развития тем. В данной работе исследуются динамические свойства ТМь. Такое исследование подразумевает анализ динамики, в т.ч. нетекстовых атрибутов информационной среды социальных медиа.

Пусть  $D$  — множество (коллекция) текстовых документов,  $W$  — множество (словарь) употребляемых в них терминов. Терминами могут быть слова и словосочетания. Каждый документ  $d \in D$  представляет собой последовательность  $n_d$  терминов  $w_1, \dots, w_{n_d}$  из словаря  $W$ .

В основе ТМ лежит низкоранговое матричное разложение, которое позволяет представить исходную матрицу (матрицу документ-термин) в виде произведения двух матриц более низкого ранга. Такое представление опирается на интуитивно понятное предположение о том, что число тем  $|T|$  меньше  $|D|$  и  $|W|$ . Каждый документ состоит из нескольких тем, и каждая тема состоит из некоторых терминов. Для каждого документа определяется вероятность того, что он содержит каждую из тем, и для каждой темы - вероятность того, что она содержит каждый из терминов. Эти вероятности можно записать в матрицы  $\Theta$  и  $\Phi$  соответственно. Задача сводится к поиску приближённого представления матрицы частот терминов в документах  $P=(\hat{p}(w|d))_{W \times D}$  в виде произведения  $P=\Phi \times \Theta$  двух неизвестных матриц меньшего размера — матрицы терминов тем  $\Phi=(\phi_{wt})_{W \times T}$  и матрицы тем документов  $\Theta=(\theta_{td})_{T \times D}$ . Матрицы  $P$ ,  $\Phi$ ,  $\Theta$  являются стохастическими и имеют неотрицательные нормированные столбцы  $p_d$ ,  $\phi_t$ ,  $\theta_d$ , представляющие дискретные распределения [6].

ТМ позволяет автоматически выделять темы из текстовых документов и широко применяется в области анализа текстов, а также для информационного поиска. Базовыми методами ТМ являются латентно-семантический анализ (ЛСА) [7], вероятностный ЛСА [8], латентное размещение Дирихле (*Latent Dirichlet Allocation, LDA*) [9], неотрицательное матричное разложение [10], иерархическая языковая модель Дирихле [11], иерархический процесс Дирихле (*Hierarchical Dirichlet Processes, HDP*) [12] и др.

Одной из особенностей текстов в социальных сетях является их малая длина. Для ТМ коротких текстов предложено несколько подходов [13]: прямой учёт встречаемости слов [14], рассмотрение каждого короткого документа как принадлежащего одной теме [9], учёт эвристических связей между документами для объединения их в «псевдо-документы» для получения документов большего размера [15].

Известны методы ТМ, позволяющие учитывать эволюцию тем во времени: динамическая ТМ [16], байесовская сеть с непрерывным временем [17], фреймворк для выявления тем в корпусе данных и отслеживания сложных структурных изменений во времени [18] и др.

Особенности оценивания методов ТМ в социальных медиа обсуждались в работе [19]. Среди автоматически вычисляемых наибольшее распространение получили метрики [20], основанные на встречаемости терминов. К интегральным показателям ядра темы относятся характеристики, вычисляемые на основе частотных значений входящих в ядро темы токенов [21]. Нахождение универсальных автоматически вычисляемых метрик качества разных ТМ является открытым вопросом.

В обзоре мер сходства текста [22] выделяются четыре типа мер, основанных на: символах, терминах, корпусе, знаниях; а также гибридные меры, представляющие собой комбинации перечисленных типов. При использовании символьных мер тексты рассматриваются как последовательности символов, которые могут быть преобразованы с помощью операций редактирования [23]. Чтобы применить эти меры, тексты (документы) представляются в виде списков частот или векторной модели, в которой каждому слову сопоставляется вес в соответствии с выбранной весовой функцией. Получив такое представление для документов, можно находить расстояние между документами в пространстве [3].

Для назначения весов словам используется метод *TF-IDF* (от англ. *TF* — *term frequency*, *IDF* — *inverse document frequency*) [24]. Для сравнения векторов документов в [4, 25] применялись косинусное сходство, манхэттенское расстояние, евклидово расстояние и др.

Следующим уровнем сравнения текстов является сравнение тем. На предварительном этапе для корпусов текстов строятся ТМ, которые сопоставляются между собой. Для количественной оценки различия коллекций в рамках сравнения ТМ предложено использовать сумму модулей отклонений от равномерного распределения тематик, делённую на количество тематик – коэффициент контентной аутентичности [26].

В области корпусной лингвистики задача подбора текста и корпуса, а также сравнения коллекций (корпусов) текстов относится к направлению сравнительного текстового анализа (СТА) [27, 28].

## 2 Концептуальные основы комплексного исследования динамических свойств результатов ТМ

Для исследования динамическими свойствами результатов ТМ предлагается разделение результатов по способам представления на:

- множества вероятностных элементов;
- связи ТМ и атрибутов исходных текстов, использованных для построения этих моделей;
- специализированные ТМ с мультимодальной архитектурой.

Способы представления определяют направления работы с динамическими свойствами результатов ТМ, по каждому из которых создано концептуальное описание технологии и соответствующих программных компонентов:

- проектирование и формирование архитектур ТМ путём определения необходимых компонент и выбора инструментов реализации;
- построение ТМ и их интеллектуальный анализ;
- когнитивная визуализация динамики в результатах ТМ.

За основу технологии принята созданная *система мониторинга* (С.М.) сообществ социальных медиа [29]. Получаемые с помощью этой системы данные регулярно обрабатываются с целью выявления динамических аспектов объектов и процессов, с которыми эти данные связаны. На рисунке 1 представлены в виде диаграммы использования *UML* (*Unified*

Modeling Language) возможные варианты исследования динамических свойств результатов ТМ на основе открытых больших данных социальных медиа.

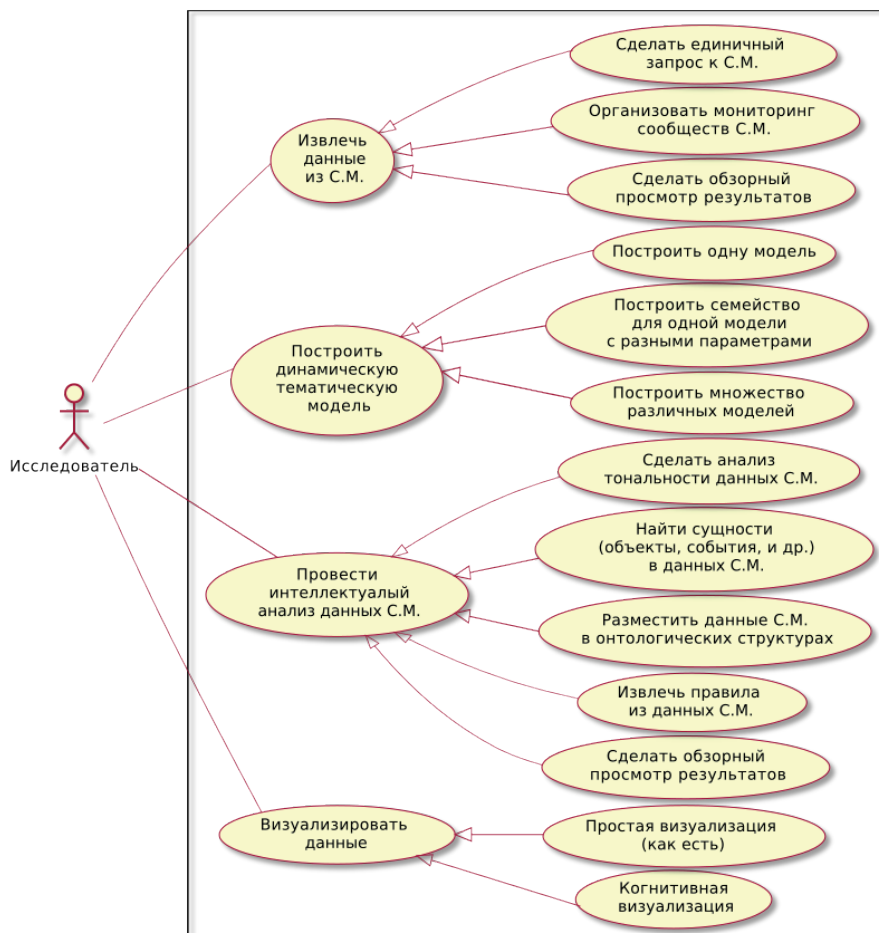


Рисунок 1 – Диаграмма использования. Комплексное исследование динамических свойств результатов тематического моделирования

Первый уровень прецедентов содержит действия, включающие предварительный этап извлечения данных посредством применения С.М. и соответствующие разрабатываемым технологиям: построение динамических ТМь, интеллектуальный анализ результатов, когнитивная визуализация. Второй уровень детально раскрывает варианты использования каждой из технологий.

На рисунке 2 в виде диаграммы последовательности *UML* представлен пример использования разработанных технологий для исследования динамических свойств ТМь. На предварительном этапе пользователи определяют конфигурацию мониторинга данных. В результате работы соответствующих инструментов извлечения данные социальных медиа сохраняются в базе данных (БД) мониторинга, а пользователь получает уведомление. Подобная схема применяется и на следующих основных этапах, ассоциированных с использованием разработанных технологий: построения ТМь, анализа и визуализации.

### 3 Построение динамических тематических моделей на основе данных мониторинга социальных медиа

Динамическая ТМь отражает распределённые во времени и/или пространстве тематические свойства определённого корпуса текстов. Корпуса текстов, сформированные на основе

открытых данных социальных медиа, наделены определённой спецификой. Помимо содержания и связанных с ним лексико-семантических и других языковых свойств, такие тексты характеризуются множеством дополнительной атрибутивной информации. Например, к такой информации относятся аккаунт автора текстов и ассоциированные с ним пользовательский профиль, дата, время, место публикации, а также связанные с этой публикацией другие публикации, их прямые и косвенные характеристики.

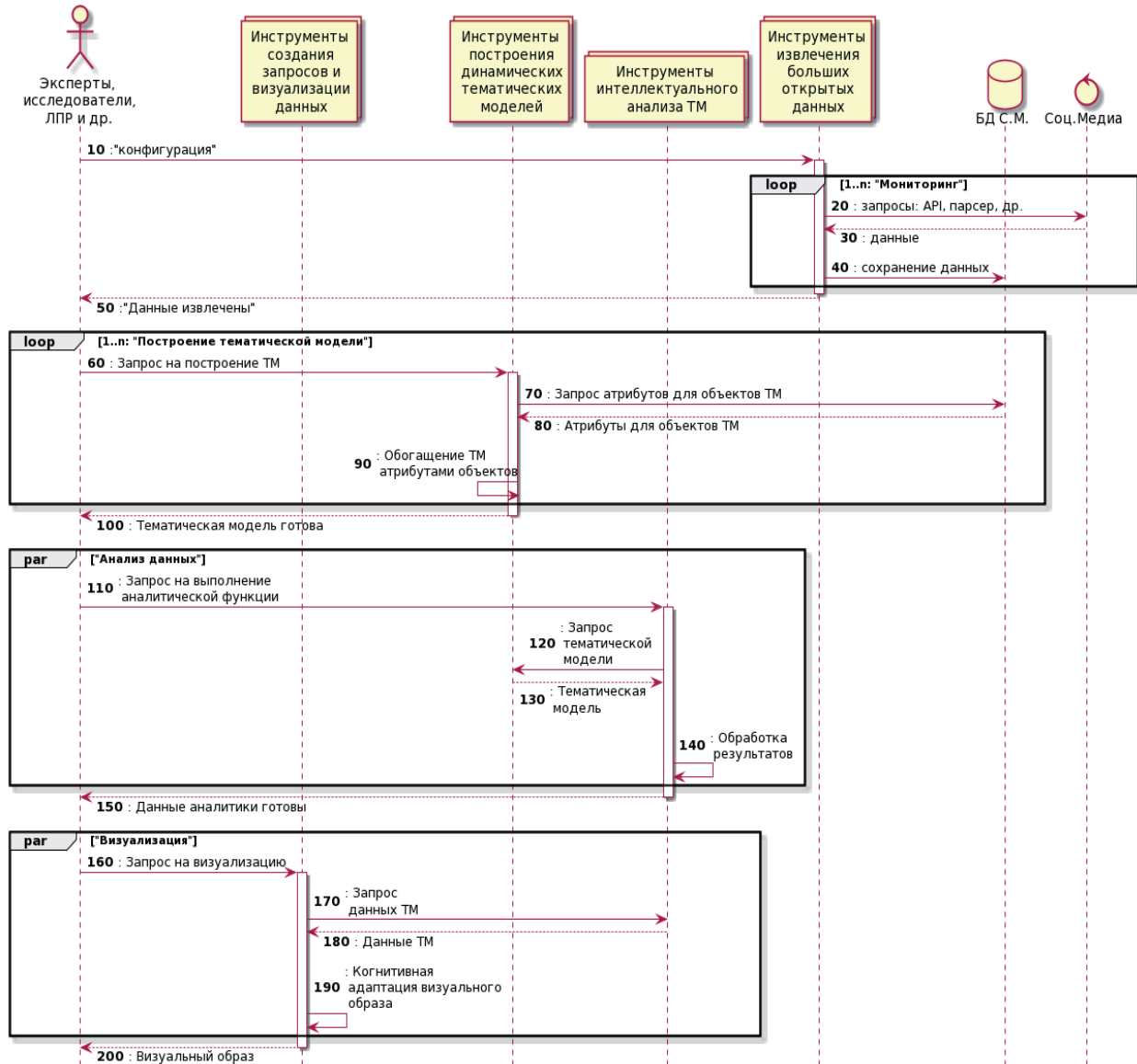


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности. Применение разработанных технологий для исследования динамических свойств результатов тематического моделирования

Исследование динамических свойств объектов и процессов, связанных с ТМ, позволило выявить способы представления результатов ТМ, в которых проявляется динамика (см. рисунок 3). Все варианты разбиваются на два подмножества: аспект динамики и инструмент выявления динамики. Динамика ТМ проявляется в виде следующих вариантов на основе: последовательностей тем; содержания текстов; атрибутов текста (контекста). Динамические особенности этих вариантов проявляются в результате исследования неразрывных связей между характеристиками исходных корпусов текстов и получаемыми на их основе ТМ. Каждый из вариантов может рассматриваться отдельно и в сочетаниях с остальными.

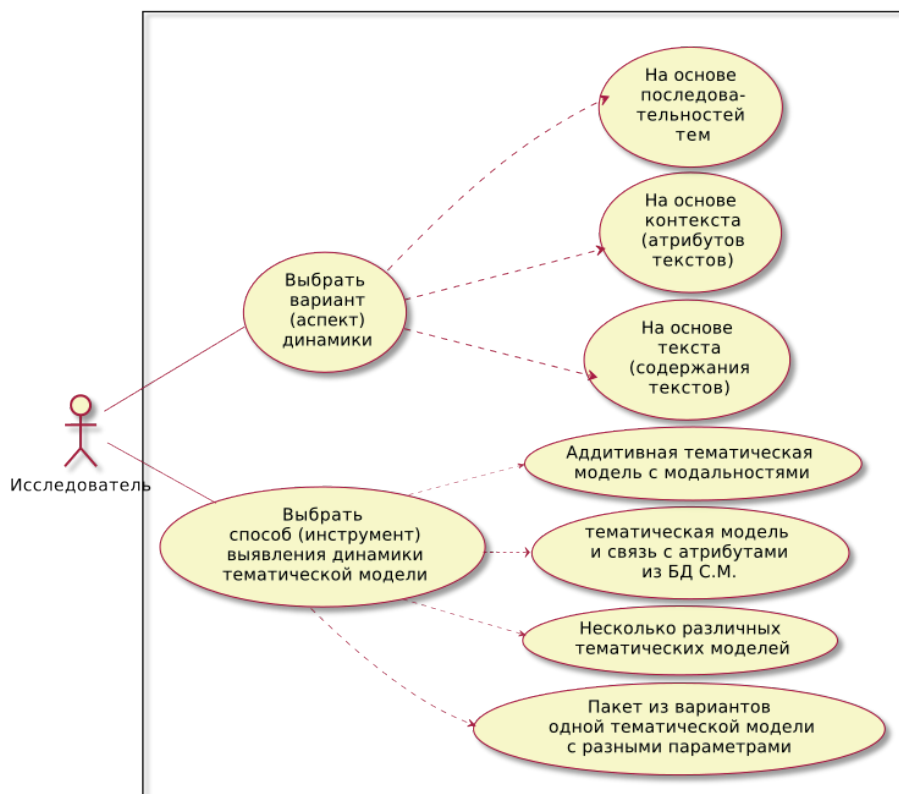


Рисунок 3 – Диаграмма использования. Технология создания динамических тематических моделей

В первом случае рассматриваются темы в ТМь. Интерес представляют изменение порядка тем, их возникновение, преобразование и исчезновение, а также временные характеристики этих изменений.

Содержание текстов документов, на основе которых строятся ТМь, задаёт второй динамический аспект. В данном случае интерес представляет то, как и какие изменения в исходных текстах приводят к изменению ТМь и каков характер этих изменений.

Третий путь работы с динамическими аспектами ТМь предусматривает рассмотрение их совместно с атрибутивной информацией, с которой связаны тексты исходных документов. Тексты социальных медиа неразрывно связаны с такими атрибутами как счётчики активности (комментарии, просмотры, авторы, дата и время публикации и др.). Интерес представляет то, как динамические свойства атрибутов связаны с динамическими свойствами ТМь.

*В первом варианте* подхода к оценке динамических характеристик ТМь результаты ТМ рассматриваются как множества вероятностных векторов. В общем случае на вход в ТМь передаётся исследуемый корпус текстов и словарь, а на выходе получают две матрицы:  $\Phi$  (слова на темы) и  $\Theta$  (темы на документы). Матрица  $\Phi$  состоит из вектор-столбцов, задающих распределения слов в словаре в соответствии с каждой темой. Матрица  $\Theta$  формируется из вектор-столбцов с вероятностным распределением тем в каждом документе исследуемого корпуса текстов. Работа с динамическими характеристиками таких объектов включает использование мер и метрик, отмеченных в разделе 1. Вычисление таких метрик позволяет находить для компонентов ТМь степень их сходства и различия, определять расстояния между ними и т.п.

*Второй вариант* исследования динамики ТМь ориентирован на извлечение и анализ атрибутивных особенностей объектов. Исследуются переход от тематических свойств текстов к их динамичным атрибутивным особенностям и обратный переход - от атрибутов с заданными свойствами к связанным с ними текстам и их тематическим характеристикам.

Для комплексного анализа динамики и тематического наполнения необходимо на этапе подготовки к сбору данных определить то, какие тексты и их атрибуты из какой социальной сети должны быть получены и положены в основу ТМь.

При извлечении открытых данных из социальных медиа руководствуются утверждением о том, что лишних данных не бывает. При построении ТМь используются только текстовые данные, но на следующем этапе анализа подключаются все атрибутивные метаданные.

*Мультимодальный, комплексный вариант* построения или представления динамических ТМь основывается на внутренних свойствах и возможностях определённого класса таких моделей. ТМь с аддитивной регуляризацией позволяют включать непосредственно в модель дополнительные, в т.ч. нетекстовые, данные. Это реализовано с помощью т.н. модальностей - маркированных единой меткой непересекающихся групп данных, на базе которых строится ТМь. Для её построения достаточно определения основной текстовой модальности, в которую включаются исходные тексты. Дополнительные модальности представляют собой сопутствующие основной модальности группы текстовых атрибутов, которые совместно, но не пересекаясь, обрабатываются алгоритмами ТМ. Гибкость в управлении модальностями добавляются коэффициенты, которыми регулируется степень значимости каждой модальности. Эти коэффициенты влияют на ТМь, определяя в ней вклад каждой модальности пропорционально значениям коэффициентов. Несмотря на то, что модальности — это текстовые группы, они могут быть сформированы из нетекстовых элементов, т.к. алгоритмы ТМ работают с текстами, разбитыми на токены (обособленные части текста, имеющие своё символическое представление).

С помощью таких токенов можно записать идентификационные номера аккаунтов, даты, значения счётчиков активности, закодировать динамические аспекты текстов соцсетей.

Полученная в результате модель содержит данные о динамике. В описанном варианте все интересующие динамические аспекты определяются на этапе построения модели. В предыдущем варианте предусматривалась возможность связывания тематических и динамических характеристик различными способами после получения модели.

#### **4 Интеллектуальный анализ результатов ТМ объектов и процессов социальных медиа**

Для совместного исследования результатов ТМ и расширенного атрибутами динамично изменяющегося исходного корпуса текстов разработана технология интеллектуального анализа данных социальных медиа. Реализованы базовые процедуры получения:

- тематических характеристик по заданным исходным текстам (объектам) и их атрибутам;
- атрибутивной информации по заданным тематическим свойствам.

Разработанная технология и реализующие её средства расширяют возможности анализа корпуса текстов с помощью ТМ. Здесь используется свойство текстов социальных медиа, которые, по сути, являются метатекстами. Метатекстовая структура исследуемых объектов расширяет возможности ТМ пропорционально объёму и структуре метатекстовых атрибутов. Такими атрибутами являются счётчики активности, а также мультимедийные приложения (графические и видео изображения, аудио файлы и др.). Важным элементом является динамический характер исследуемых объектов. Тексты социальных медиа изменяются во времени и в пространствах, задаваемых своими атрибутами. Для работы с ними применяются различные метрики и меры.

Особенность интеллектуального анализа заключается в совместном использовании полученных результатов ТМ и исходных данных, имеющих объёмную атрибутивную структуру. Использование такого расширения структур данных позволяет проводить гибкий много-

уровневый тематический анализ. Таким образом, интеллектуальный анализ результатов ТМ реализуется поэтапно (см. рисунок 4):

- построение ТМь одним из способов, описанных в разделе 3;
- установление связей между ТМь и БД с атрибутивными данными;
- формирование запросов к тематической модели, позволяющих получать:
  - тематические характеристики на основе заданных атрибутивных данных;
  - атрибутивные данные на основе заданных тематических характеристик;
- построение последовательности запросов к ТМь, позволяющих исследовать её динамические свойства на основе заданной последовательности (множества) атрибутивных данных и тематических атрибутов;
- применение к результатам запросов метрик и мер, соответствующих типам получаемых данных;
- интерпретация полученных результатов.

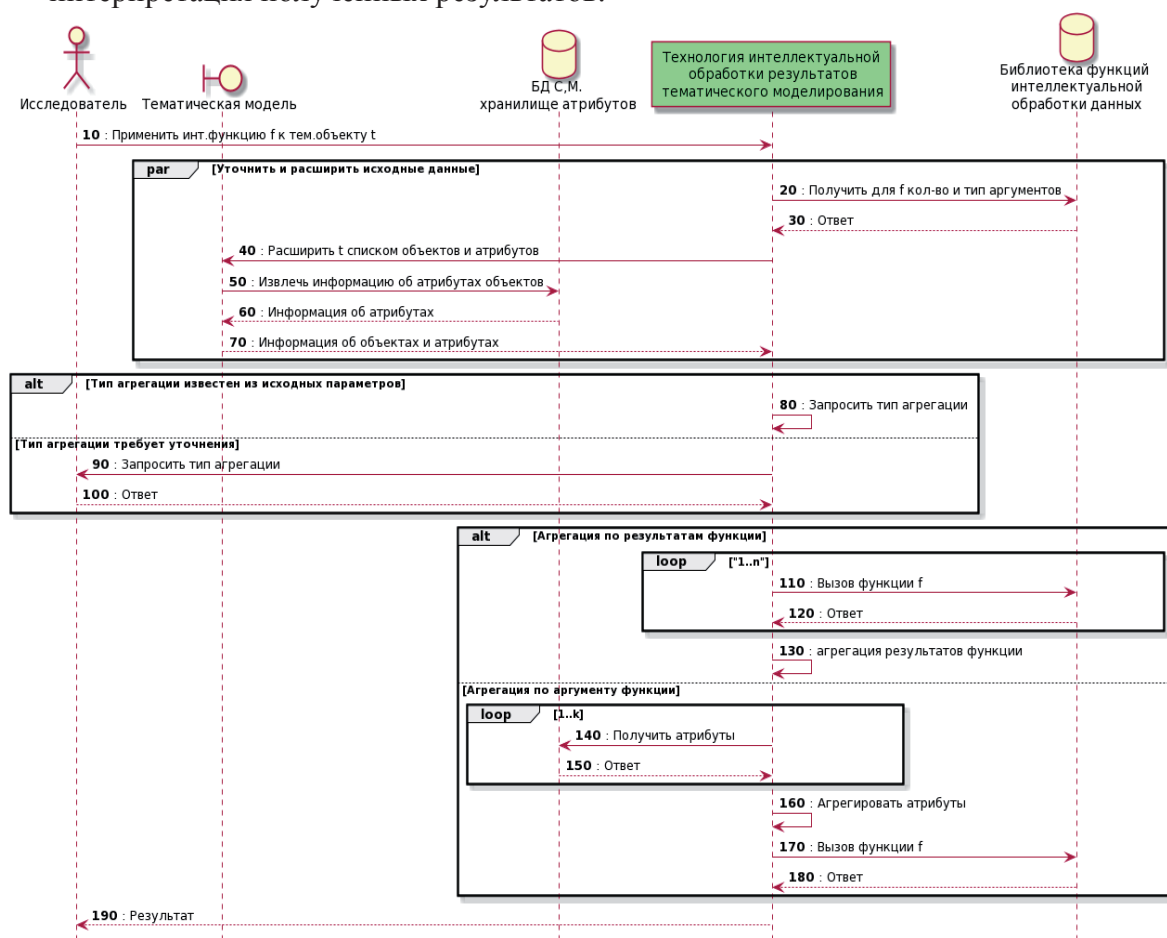


Рисунок 4 – Диаграмма последовательности. Технология интеллектуальной обработки результатов тематического моделирования

## 5 Когнитивная визуализация результатов динамического ТМ для поддержки решения задач регионального развития

В данной работе ТМ и анализ больших открытых данных социальных медиа используются для разработки концептуальных и прикладных средств поддержки решения задач регионального развития. Конечные пользователи разработок - управленцы и эксперты в различных предметных областях, которым необходима в работе информация о социальных про-

цессах будет представлена в виде результатов ТМ и производных от них. Такие результаты нуждаются в дополнительной подготовке для представления экспертам.

Когнитивная визуализация предполагает представление результатов ТМ в удобном и понятном интерактивном виде. Такой подход позволяет эксперту иметь доступ к полученным аналитическим результатам и к связанным с ними первичным данным, иметь возможность либо сразу принимать необходимые решения, либо скорректировать модельные параметры и построить следующий вариант ТМ. Для когнитивной визуализации предложены базовые принципы (см. рисунок 5), на основе которых производится проектирование и программная реализация когнитивной визуализации.

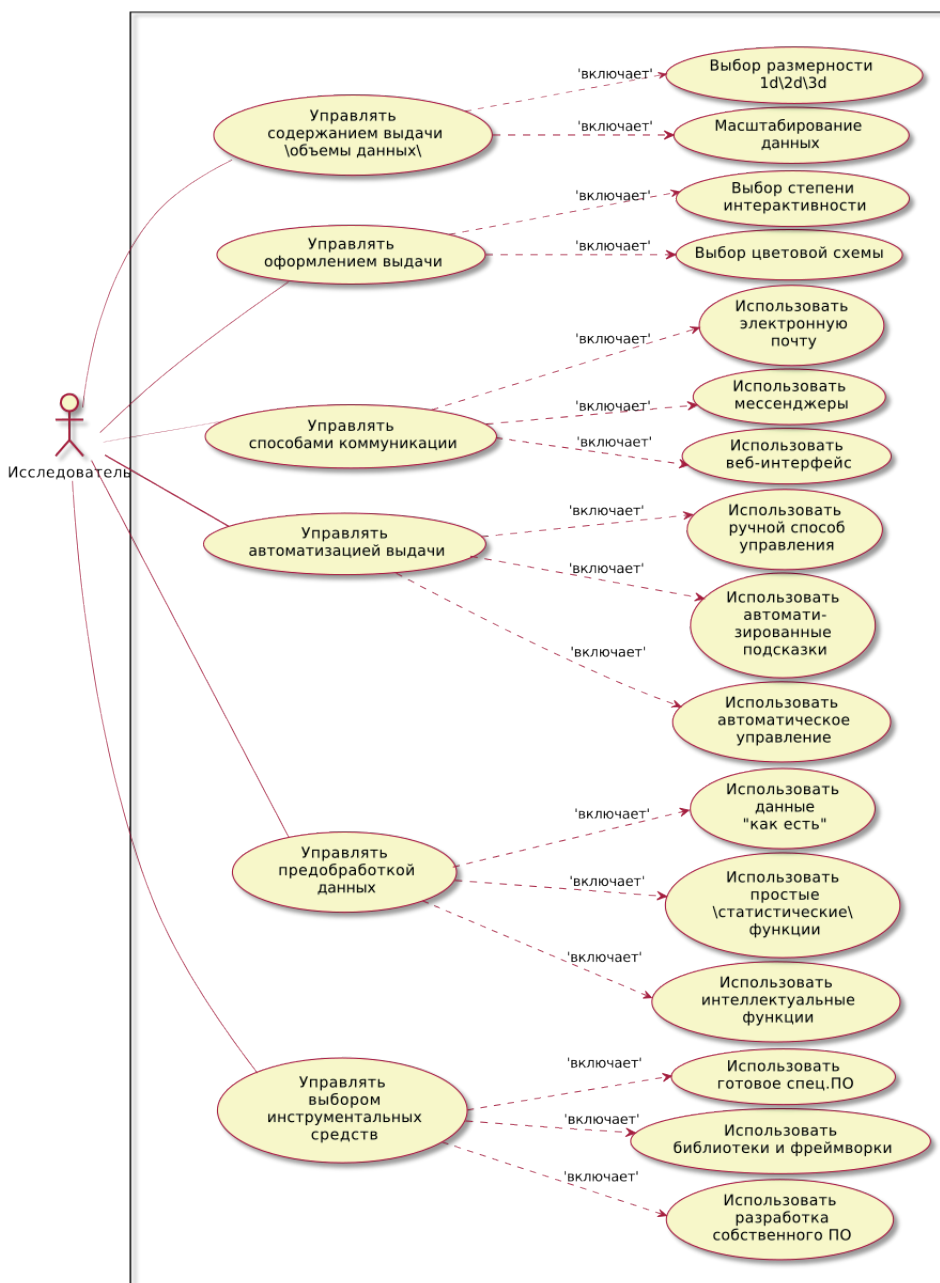


Рисунок 5 – Диаграмма использования. Базовые принципы технологии когнитивной визуализации

Для пользователя-эксперта визуальный образ формируется с помощью управления содержанием и оформлением выдачи, выбором инструментальных средств и способов комму-



никации, а также предобработкой данных. Эти виды управления могут быть использованы по отдельности и в различных сочетаниях. При этом управление может осуществляться в автоматизированном режиме или быть полностью переданным пользователю.

Например, если данных для отображения слишком много, то можно выдавать их пользователю порциями, предоставляя ему интерактивные элементы управления для выбора нужных данных. Для взаимодействия с пользователем можно использовать различные способы коммуникации (мессенджеры, электронную почту и др.). Для повышения наглядности данные могут быть дополнительно обработаны, например, с помощью ТМ, средства кластеризации и классификации, построения онтологических конструкций и тезаурусов и др.

Технологии ТМ постоянно развиваются. Существуют средства когнитивной визуализации результатов ТМ (например, *LDavis* [30]). Однако данное средство позволяет видеть лишь часть результатов ТМ, которая представляет собой визуализацию содержимого матрицы  $\Phi$ , т.е. тематическую разбивку словаря анализируемого корпуса текстов. На координатной плоскости, задаваемой номинальными координатами [31], отображается взаимное расположение выявленных тем. В данной работе развитие функции *pyLDavis* расширено возможностью работы с содержимым матрицы  $\Theta$ , т.е. распределением документов корпуса текстов по темам. На основе результатов ТМ пользователю предоставлена возможность выбора темы для анализа и интерпретации результатов моделирования. Производится автоматическая выборка и отображение строк матрицы  $\Theta$ , связанных с исходными текстами, обладающими максимальной вероятностью принадлежности к выбранной теме. Посредством автоматического размещения гиперссылок рядом со строками матрицы  $\Theta$  обеспечивается доступ к исходным текстам (см. рисунок 6).

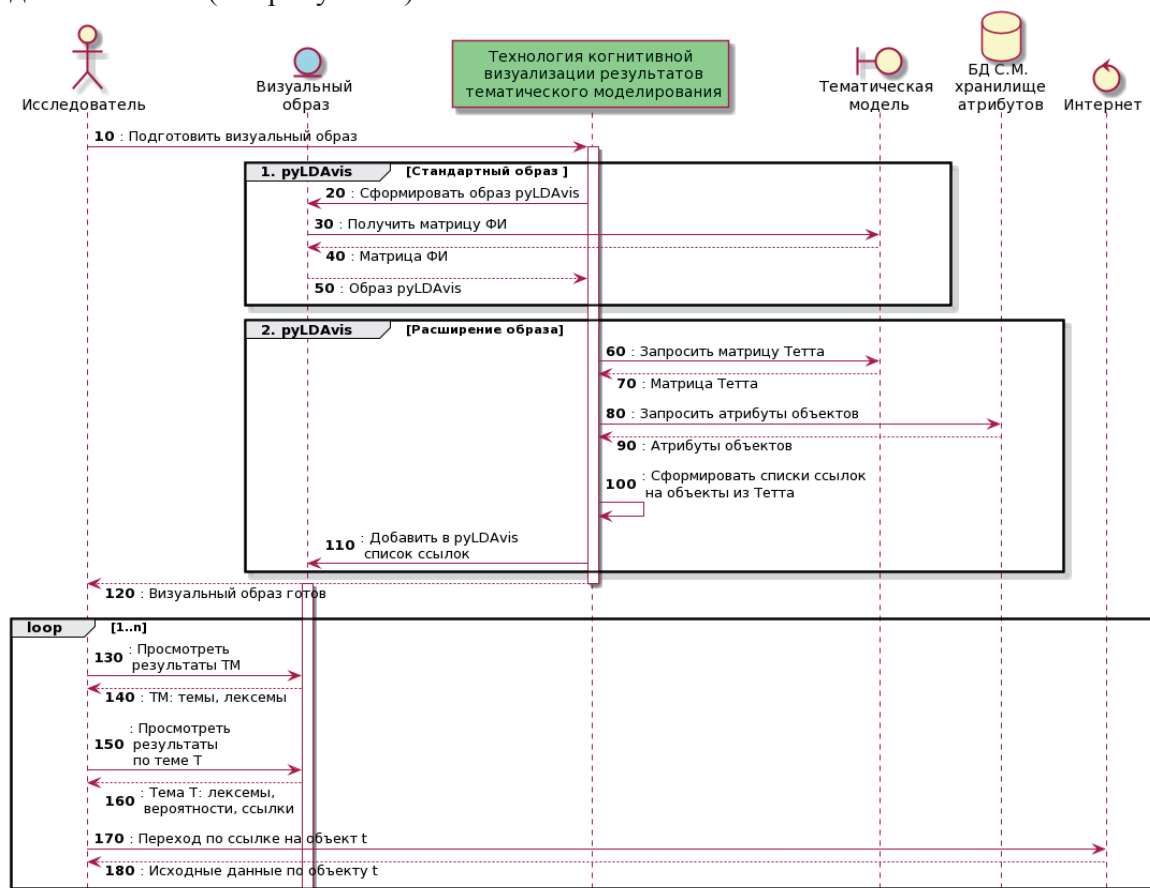


Рисунок 6 – Диаграмма последовательности. Технология когнитивной визуализации результатов динамического тематического моделирования

Пользовательский веб-интерфейс, в котором реализована указанная последовательность действий, представлен на рисунке 7. Интерфейс *pyLDavis* расширен размещёнными в верхней части изображения блоками выбора темы и представления строк матрицы  $\Theta$ , обогащённых гиперссылками на исходные тексты. Данное расширение является демонстрацией совместной работы базовых принципов когнитивной визуализации, представленных на рисунке 5 в виде управления содержанием, оформлением и автоматизацией выдачи, а также выбором инструментальных средств.

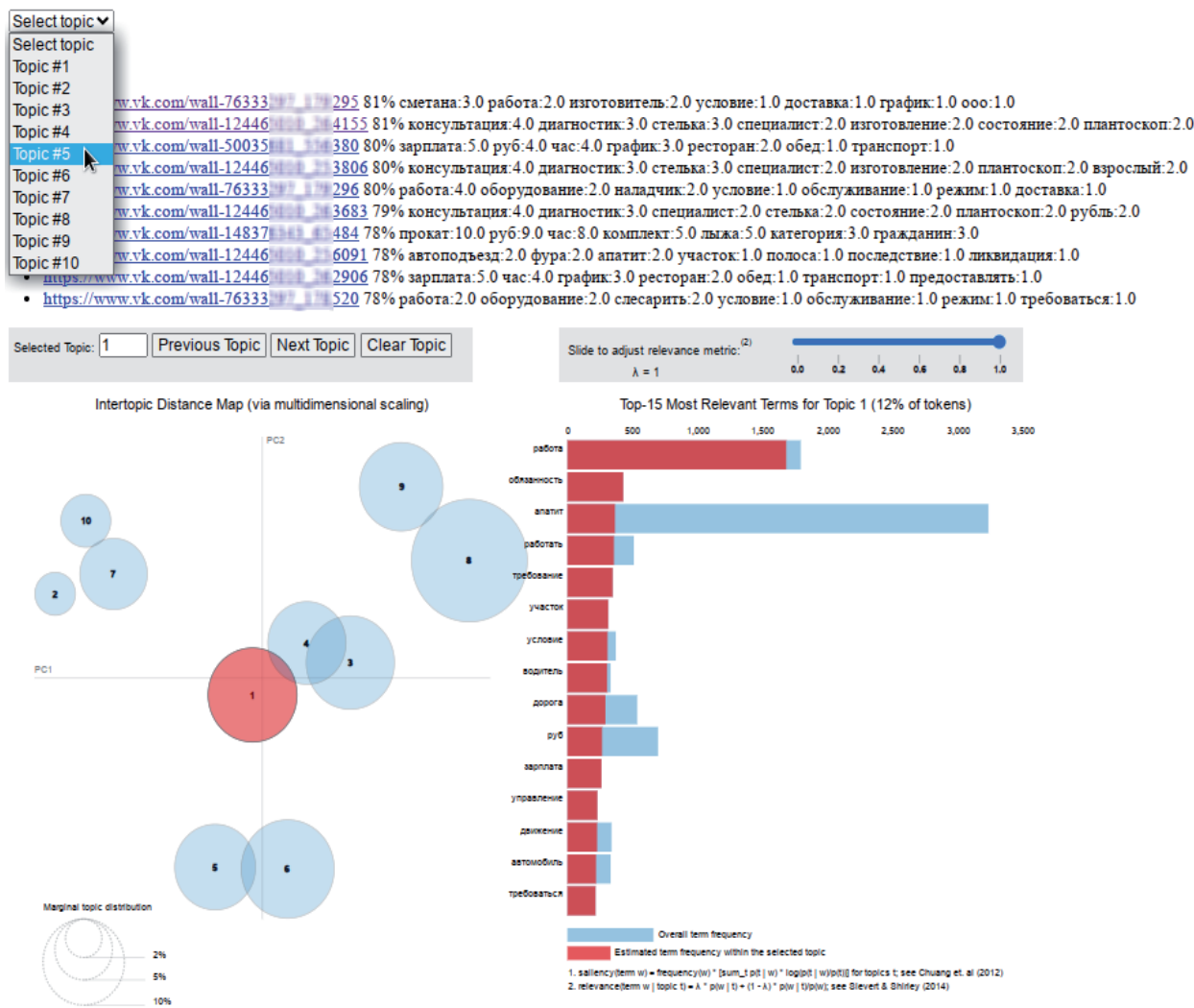


Рисунок 7 – *pyLDavisPLUS*. Расширение веб-интерфейса инструментария *pyLDavis* при анализе тематических моделей и атрибутивной информации и связанных с ними исходных текстов

## Заключение

Представлен опыт создания информационной системы комплексного тематического анализа больших данных социальных медиа на основе разработанных информационных технологий.

Эти технологии описаны на принципиальном уровне в нотации диаграмм *UML*. Базовые компоненты технологий реализованы на языке программирования *Python* с использованием архитектуры *web*.

Изложенные подходы использования ТМ тесно связаны с развитием технологий и инструментов поддержки управления региональным развитием [32].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Боргест Н.М.** Научный базис онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2013. №1 (7). С.7-25.
- [2] **Смирнов С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. 2012. №2. С.16-24.
- [3] **Коршунов А.В., Гомзин А.Г.** Тематическое моделирование текстов на естественном языке // Труды Института системного программирования РАН. 2012. №23. С.215-244.
- [4] **Allan J., Carbonell J., Doddington G., Yamron J., Yang Y.** Topic Detection and Tracking Pilot Study. Final Report // Proceedings of the Broadcast News Transcription and Understanding Workshop (Sponsored by DARPA), Feb. 1998.
- [5] **Воронцов К.В.** Вероятностное тематическое моделирование. 2013. <http://www.machinelearning.ru>.
- [6] **Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С.** Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных. М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. 269 с. [https://www.hse.ru/data/2017/07/22/1173852775/NLPandDA\\_4print.pdf](https://www.hse.ru/data/2017/07/22/1173852775/NLPandDA_4print.pdf).
- [7] **Deerwester S., Dumais S.T., Furnas G.W., Landauer T.K., Harshman R.** Indexing by Latent Semantic Analysis // J. Am. Soc. Inf. Sci. Vol.41(6). 1990. P.391-407.
- [8] **Hofmann T.** Probabilistic latent semantic indexing // In: Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '99). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999. P.50–57. DOI:10.1145/312624.312649.
- [9] **Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I.** Latent Dirichlet allocation // J. Mach. Learn. Res. Vol. 3. 2003. P.993-1022.
- [10] **Kuang D., Choo J., Park H.** Nonnegative Matrix Factorization for Interactive Topic Modeling and Document Clustering // In: Celebi M. (eds) Partitional Clustering Algorithms. Springer, Cham. 2015. DOI:10.1007/978-3-319-09259-1\_7.
- [11] **MacKay D.J.C., Peto L.C.B.** A hierarchical Dirichlet language model // Nat. Lang. Eng. Vol. 1(3). 1995. DOI:10.1017/S1351324900000218.
- [12] **Teh Y.W., Jordan M.I., Beal M.J., Blei D.M.** Sharing clusters among related groups: Hierarchical Dirichlet processes // In: NIPS'04: Proceedings of the 17th International Conference on Neural Information Processing Systems. MIT Press, Cambridge, MA, United States, 2004. P.1385–1392.
- [13] **Vayansky I., Kumar S.** A review of topic modeling methods // Information Systems. 2020. Vol.94. 101582. DOI:10.1016/j.is.2020.101582.
- [14] **Yan X., Guo J., Lan Y., Cheng X.** A biterm topic model for short texts // In: Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web, Rio de Janeiro, Brazil. 2013. P.1445–1455. DOI:10.1145/2488388.2488514.
- [15] **Zuo Y. et al.** Topic Modeling of Short Texts: A Pseudo-Document View // In: KDD'16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2016. P.2105–2114. DOI:10.1145/2939672.2939880.
- [16] **Blei D.M., Lafferty J.D.** Dynamic topic models // In: ICML '06: Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning. New York, NY, USA, ACM, 2006. P.113–120. DOI:10.1145/1143844.1143859.
- [17] **Nodelman U., Shelton C.R., Koller D.** Continuous time bayesian networks // In: Proceedings of the Eighteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Alberta, Canada, 2002. P.378–387.
- [18] **Beykikhoshk A., Arandjelović O., Phung D., Venkatesh S.** Discovering topic structures of a temporally evolving document corpus // Knowl Inf Syst. 2018. Vol. 55. P.599–632. DOI:10.1007/s10115-017-1095-4.
- [19] **Датьев И.О., Федоров А.М.** Аддитивная регуляризация при тематическом моделировании текстов сообществ онлайн-социальных сетей // Онтология проектирования. 2022. Том 12, №2(44). С.186-199. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199.
- [20] **Mimno D., Wallach H., Talley Ed., Leenders M., McCallum A.** Optimizing semantic coherence in topic models // In: Proc. of the 2011 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing, Edinburgh, Scotland, UK. Association of Computational Linguistics, 2011. P.262-272.
- [21] **Vorontsov K., Potapenko A.** Additive regularization of topic models // Mach Learn. 2015. Vol. 101. P. 303-323. <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6>.
- [22] **Goma W. H., Fahmy A. A.** A Survey of Text Similarity Approaches // International Journal of Computer Applications. 2013. Vol. 68(13). P.13–18.
- [23] **Левенштейн В.И.** Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Доклады Академии Наук СССР. 1965. Том 163.4. С.845-848.

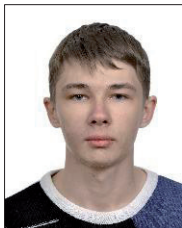
- [24] **Jones K.S.** A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval // Journal of Documentation. MCB University: MCB University Press, 2004. Vol. 60, no. 5. P. 493-502.
- [25] **Allan J., Lavrenko V., Malin D., Swan R.** Detections, bounds, and timelines: UMass and TDT-3 // In Proceedings of Topic Detection and Tracking Workshop. Vienna, VA, 2000. P.167–174.
- [26] **Краснов Ф.В., Диментов А.В., Шварцман М.Е.** Использование тематических моделей для парного сравнения коллекций научных статей // Информатика и её применения. 2020. Том 14, выпуск 3. С.129–135.
- [27] **Kilgarriff A., Rose T.** Measures for corpus similarity and homogeneity. 1998. <http://aclweb.org/anthology/W98-1506>.
- [28] **Fothergill R., Cook P., Baldwin T.** Evaluating a topic modelling approach to measuring corpus similarity, In Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016), Portorož, Slovenia. 2016. P.273-279.
- [29] **Федоров А.М., Датьев И.О., Щур А.Л.** «ИС МСВ» //Роспатент: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020619469 от 17 августа 2020 г.
- [30] **Sievert C., Shirley K.** LDAvis: A method for visualizing and interpreting topics // In Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces, Baltimore, Maryland, USA. Association for Computational Linguistics, 2014. P.63-70.
- [31] **Jolliffe IT, Cadima J.** Principal component analysis: a review and recent developments // Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2016 Apr 13; 374(2065):20150202. DOI:10.1098/rsta.2015.0202. PMID: 26953178; PMCID: PMC4792409.
- [32] Информационно-аналитическая система поддержки управления региональным развитием на основе открытых больших данных социальных медиа: концепция разработки и практика реализации / А. М. Фёдоров и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т.13, № 2. С.5–22. DOI:10.37614/2949-1215.2022.13.2.001

## Сведения об авторах



**Федоров Андрей Михайлович** 1978 г. рождения. Окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета (2000). К.т.н. (2005). В ИИММ КНЦ РАН ведущий научный сотрудник, заместитель директора по научной работе (с 2017 г.). Доцент кафедры информатики и вычислительной техники в филиале Мурманского арктического государственного университета (МАГУ) в г. Апатиты. Область научных интересов сосредоточена на разработке моделей и технологий информационной поддержки для регионального управления. Author ID (RSCI): 4285-9780; Author ID (Scopus): 57203929412; Researcher ID (WoS): D-5859-2016. [fedorov@iimm.ru](mailto:fedorov@iimm.ru).

**Датьев Игорь Олегович** 1981 г. рождения. Окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета (2004). К.т.н. (2011). В ИИММ КНЦ РАН старший научный сотрудник, ученый секретарь. Автор более 100 научных работ в области разработки моделей и технологий для региональных информационно-коммуникационных систем. Author ID (РИНЦ): 180256; Author ID (Scopus): 56070103900; Researcher ID (WoS): J-1839-2018. [datyev@iimm.ru](mailto:datyev@iimm.ru). ✉



**Вишняков Иван Геннадьевич** 1997 г. рождения. Окончил филиал МАГУ в г. Апатиты (2022). Магистрант второго курса ФИЦ КНЦ РАН по специальности 09.04.02 Информационные системы и технологии. В ИИММ КНЦ РАН системный администратор (с 2022 г.) Область научных интересов - разработка информационных систем анализа больших открытых данных социальных медиа. Author ID (RSCI): 1168901. [vishnyakov@iimm.ru](mailto:vishnyakov@iimm.ru).



Поступила в редакцию 01.12.2023, после рецензирования 10.01.2024. Принята к публикации 02.02.2024.



## Designing an information system for integrated topic analysis of social media big data

© 2024, A.M. Fedorov, I.O. Datyev ✉, I.G. Vishnyakov

*Institute for Informatics and Mathematical Modeling named after V.A. Putilov of the Kola Science Center RAS, Apatity, Russia*

### Abstract

Open communities of users in social media are a source of data that quickly presents the thematic agenda of issues relevant to the population. The indicators of user activity are views, likes, comments and reposts, and they are of a dynamic nature. The article presents a new vision at the topic modeling problems, the results of which are examined for dynamic properties. These data are relevant to solve problems of information support for regional and municipal development. The authors reveal their experience in designing an information system for integrated topic analysis of large open social media data. The system is based on three technologies: building dynamic topic models for monitoring social media, intelligent analysis of topic modeling results; and cognitive visualization of dynamic topic modeling results. To take into account design uncertainty, object modeling tools, system design and a modular approach were used.

**Keywords:** regional development management, information and analytical systems, social network communities, data analysis, topic modeling.

**For citation:** Fedorov AM, Datyev IO, Vishnyakov IG. Designing an information system for integrated topic analysis of social media big data [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(1): 55-70. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-55-70.

**Financial Support:** The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Topic title: Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data (reg.n. 122022800551-0).

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

### List of figures

- Figure 1 - Usage diagram. Comprehensive study of the dynamic properties of topic modeling results
- Figure 2 - Sequence diagram. Application of developed technologies to study the dynamic properties of topic modeling results
- Figure 3 - Usage diagram. Technology for creating dynamic topic models
- Figure 4 - Sequence diagram. Technology for intelligent processing of topic modeling results
- Figure 5 - Usage diagram. Basic principles of cognitive visualization technology
- Figure 6 - Sequence diagram. Technology of cognitive visualization of dynamic topic modeling results
- Figure 7 - pyLDAvisPLUS. Extension of the pyLDAvis web interface when analyzing topic models and attribute information and associated source texts

### References

- [1] **Borgest NM.** Scientific basis of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; №1 (7): 7-25.
- [2] **Smirnov SV.** Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2012; №2: 16-24.
- [3] **Korshunov AV, Gomzin AG.** Topic modeling of natural language texts [In Russian]. Proceedings of the Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences. 2012; №23: 215-244.
- [4] **Allan J, Carbonell J, Doddington G, Yamron J, Yang Y.** Topic Detection and Tracking Pilot Study. Final Report. Proceedings of the Broadcast News Transcription and Understanding Workshop (Sponsored by DARPA), Feb. 1998
- [5] **Vorontsov KV.** Probabilistic topic modeling [In Russian]. 2013. <http://www.machinelearning.ru>.

- [6] **Bolshakova EI, Vorontsov KV, Efremova NE, Klyshinsky ES, Lukashevich NV, Sapin AS.** Automatic processing of texts in natural language and data analysis [In Russian]. Textbook allowance. Moscow: Publishing house of the National Research University Higher School of Economics. 2017. 269 p. [https://www.hse.ru/data/2017/07/22/1173852775/NLPandDA\\_4print.pdf](https://www.hse.ru/data/2017/07/22/1173852775/NLPandDA_4print.pdf).
- [7] **Deerwester S, Dumais ST, Furnas GW, Landauer TK, Harshman R.** Indexing by Latent Semantic Analysis. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* 1990; 41(6): 391-407.
- [8] **Hofmann T.** Probabilistic latent semantic indexing. In: Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '99). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1999. P.50–57. DOI:10.1145/312624.312649.
- [9] **Blei DM, Ng AY, Jordan MI.** Latent Dirichlet allocation. *J. Mach. Learn. Res.* Vol. 3. 2003. P.993-1022.
- [10] **Kuang D, Choo J, Park H.** Nonnegative Matrix Factorization for Interactive Topic Modeling and Document Clustering. In: Celebi M. (eds) Partitional Clustering Algorithms. Springer, Cham. 2015. DOI:10.1007/978-3-319-09259-1\_7.
- [11] **MacKay DJC, Peto LCB.** A hierarchical Dirichlet language model. *Nat. Lang. Eng.* Vol. 1(3). 1995. DOI:10.1017/S1351324900000218.
- [12] **Teh YW, Jordan MI, Beal MJ, Blei DM.** Sharing clusters among related groups: Hierarchical Dirichlet processes. In: NIPS'04: Proceedings of the 17th International Conference on Neural Information Processing Systems. MIT Press, Cambridge, MA, United States, 2004. P.1385–1392.
- [13] **Vayansky I, Kumar S.** A review of topic modeling methods. *Information Systems.* 2020. Vol.94. 101582. DOI:10.1016/j.is.2020.101582.
- [14] **Yan X, Guo J, Lan Y, Cheng X.** A biterm topic model for short texts. In: Proceedings of the 22nd International Conference on World Wide Web, Rio de Janeiro, Brazil. 2013. P.1445–1455. DOI:10.1145/2488388.2488514.
- [15] **Zuo Y et al.** Topic Modeling of Short Texts: A Pseudo-Document View. In: KDD'16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2016. P.2105–2114. DOI:10.1145/2939672.2939880.
- [16] **Blei DM, Lafferty JD.** Dynamic topic models. In: ICML '06: Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning. New York, NY, USA, ACM. 2006; P.113–120. DOI:10.1145/1143844.1143859.
- [17] **Nodelman U, Shelton CR, Koller D.** Continuous time bayesian networks. In: Proceedings of the Eighteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Alberta, Canada. 2002; P.378–387.
- [18] **Beykikhoshk A, Arandjelović O, Phung D, Venkatesh S.** Discovering topic structures of a temporally evolving document corpus. *Knowl Inf Syst.* 2018; 55: 599–632. DOI:10.1007/s10115-017-1095-4.
- [19] **Datyev IO, Fedorov AM.** Additive regularization for topic modeling of social media communities [In Russian]. *Ontology of design.* 2022; 12, 2(44): 186-199. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-186-199.
- [20] **Mimno D, Wallach H, Talley Ed, Leenders M, McCallum A.** Optimizing semantic coherence in topic models. In: Proceedings of the 2011 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (Edinburgh, Scotland, UK). Association of Computational Linguistics. 2011: 262–272.
- [21] **Vorontsov K, Potapenko A.** Additive regularization of topic models. *Mach Learn.* 2015; Vol. 101: 303-323. <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5476-6>.
- [22] **Gomaa WH, Fahmy AA.** A Survey of Text Similarity Approaches. *International Journal of Computer Applications.* 2013; 68(13): 13–18.
- [23] **Levenshtein VI.** Binary codes with correction of deletions, insertions and substitutions of symbols [In Russian]. *Reports of the USSR Academies of Sciences.* 1965; 163.4: 845-848.
- [24] **Jones KS.** A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of Documentation.* MCB University: MCB University Press, 2004; Vol. 60, no. 5: 493-502.
- [25] **Allan J, Lavrenko V, Malin D, Swan R.** Detections, bounds, and timelines: UMass and TDT-3. In Proceedings of Topic Detection and Tracking Workshop. Vienna, VA, 2000; P.167–174.
- [26] **Krasnov FV, Dimentov AV, Shvartsman ME.** Using topic models for pairwise comparison of collections of scientific articles. *Informatics and its applications.* 2020; 14(3): 129–135.
- [27] **Kilgarriff A, Rose T.** Measures for corpus similarity and homogeneity. 1998. <http://aclweb.org/anthology/W98-1506>.
- [28] **Fothergill R, Cook P, Baldwin T.** Evaluating a topic modelling approach to measuring corpus similarity. In Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016), Portorož, Slovenia. 2016; P.273-279.
- [29] **Fedorov AM, Datyev IO, Shchur AL.** “IS MSV” [In Russian]. Rospatent: Certificate of state registration of the computer program No. 2020619469 dated August 17, 2020.
- [30] **Sievert C, Shirley K.** LDAvis: A method for visualizing and interpreting topics. In Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces, Baltimore, Maryland, USA. Association for Computational Linguistics, 2014; P.63-70.

- [31] *Jolliffe IT, Cadima J.* Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2016 Apr 13; 374(2065):20150202. DOI:10.1098/rsta.2015.0202. PMID: 26953178; PMCID: PMC4792409.
- [32] *Fedorov AM et al.* Information and analytical system for supporting the management of regional development based on open big data of social media: concept of development and practice of implementation. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Technical Sciences.* 2022; 13(2): 5–22. DOI:10.37614/2949-1215.2022.13.2.001.
- 

## About the authors

**Andrei Mikhailovich Fedorov** (b. 1978) graduated from the Kola branch of the Petrozavodsk State University (2000). Cand. Sci. Eng. (2005). A leading researcher and a deputy director for research (since 2017) at the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the KSC RAS. He is a senior lecturer at the Murmansk Arctic State University branch in the Apatity (until 2017, the Kola branch of Petrozavodsk State University), an associate professor at the Department of Information Technology (2005) and the Department of Informatics and Computer Engineering (since 2018). The area of scientific interests is currently focused on the development of models and technologies for information support for regional management. Author ID (RSCI): 4285-9780; Author ID (Scopus): 57203929412; Researcher ID (WoS): D-5859-2016. [fedorov@iimm.ru](mailto:fedorov@iimm.ru).

**Igor Olegovich Datyev** (b. 1981) graduated from the Kola branch of the Petrozavodsk State University in 2004. Cand. Sci. Eng. (2011). He is a research laboratory assistant, programmer, senior researcher, and scientific secretary at the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the KSC RAS. He is the author of more than 100 scientific papers in the field of development of models and technologies for regional information and communication systems. Author ID (RSCI): 180256; Author ID (Scopus): 56070103900; Researcher ID (WoS): J-1839-2018. [datyev@iimm.ru](mailto:datyev@iimm.ru) ✉.

**Ivan Gennadyevich Vishnyakov** (b. 1997) graduated from the MASU branch in Apatity (2022). He is a second-year master's student of the Information systems and technologies specialty at the Federal Research Center KSC RAS. He is a system administrator at the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the KSC RAS. The area of scientific interests is focused on the development of information systems for analyzing big open data of social media. Author ID (RSCI): 1168901. [vishnyakov@iimm.ru](mailto:vishnyakov@iimm.ru).

---

*Received December 1, 2023. Revised January 10, 2024. Accepted February 2, 2024.*

---



## Моделирование рабочего пространства планарного трёхзвенного манипулятора

© 2024, Т.А. Шевелева ✉, А. А. Ляшков

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

### Аннотация

Проведено исследование рабочего пространства планарного трёхзвенного манипулятора. За основу взяты аналитические зависимости, позволяющие решить прямую задачу кинематики, т.е. определить координаты центра схвата по трём обобщённым координатам манипулятора. Выполненный анализ позволил дать геометрическую трактовку зависимостей. Установлено, что рабочим пространством манипулятора является трёхпараметрическое множество точек. На плоскости это множество точек представлено в виде двух дисков, состоящих из кольцевых ячеек, для которых получены соответствующие аналитические зависимости. Геометрическим образом этого множества является трёхмерный тор. Полученные модели визуализированы, что облегчает решение указанной задачи. Для определения значений обобщённых координат центра схвата в зависимости от его положения выполнено отображение ортогональным проецированием полученных в работе семейств окружностей в четырёхмерное пространство. В результате получены трёхмерные гиперповерхности в четырёхмерном пространстве. Их исследование предложено выполнять построением моделей сечений гиперповерхностей гиперплоскостями. Такие модели в режиме визуализации позволяют решать прямую и обратную задачи кинематики исследуемого манипулятора.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, манипулятор, рабочее пространство, гиперповерхность, визуализация.

**Цитирование:** Шевелева Т.А., Ляшков А.А. Моделирование рабочего пространства планарного трёхзвенного манипулятора // Онтология проектирования. 2024. Т.14, № 1(51). С.71-81. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-71-81.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Планарные двух- и трёхзвенные манипуляторы (ТМ) часто используются в робототехнике, в частности, в качестве испытательных стендов при исследовании ТМ [1]. Одна из задач исследования заключается в генерации желаемых траекторий ТМ. В статье [2] такая задача для планарного ТМ рассматривается на основе решения обратной задачи кинематики с помощью нейронной сети. Сложность решения обратной задачи кинематики для роботоманипуляторов обусловлена геометрией робота и нелинейными тригонометрическими уравнениями, описывающими положение его звеньев в декартовом пространстве [3, 4].

Ряд способов решения этой задачи приводится в работах [5-7]. Суть метода обратных преобразований заключается в составлении матриц перехода из системы координат одного звена в систему координат соседнего звена. В этом случае используют метод Данаวิตа–Хартенберга. Известны методы решения обратной задачи кинематики с использованием матриц Якоби [8]. Эффективность геометрического и компьютерного моделирования для визуализации объектов показана в работе [9].

Важной задачей является установление рабочего пространства манипулятора [10]. Основными методами исследования рабочего пространства являются: аналитический, численный, геометро-графический, в т.ч. с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерной графики.



В работе [11] выполнен систематический анализ характеристик рабочего пространства на основе исследования соотношений между длинами звеньев манипулятора и выделены три класса ТМ. Модели решений представлены в виде дисков, включающих диапазон кольцевых рабочих ячеек. Областями этих диапазонов являются облака точек.

В статье [12] для моделирования рабочего пространства ТМ использован численный метод Монте-Карло для решения прямой задачи кинематики.

В работе [13] исследование направлено на определение положения и ориентации базы манипулятора относительно заранее заданной рабочей среды. Численные методы размещения робота основаны на определении точной границы рабочего пространства. Задача решается без применения алгоритма обратной кинематики с использованием некоторой «меры ловкости». Предложенный численный метод размещения роботов-манипуляторов основан на максимизации ловкости в заданных целевых точках. В качестве примера рассмотрен плоский манипулятор с тремя степенями свободы.

В статье [14] представлено алгебраическое решение задачи по установлению граничного рабочего пространства 3D-манипулятора в декартовом пространстве. Показано, что граничная кривая поперечного сечения может быть описана полиномом 16-го порядка. Исследованы геометрические особенности этой кривой.

Практический интерес представляет обнаружение возможных пустот в рабочей области, так как это область недостижимых точек для схвата манипулятора. Наличие бугров и пустот можно обнаружить по анализу геометрических особенностей граничных поверхностей и кривых. Эффективным инструментом для достижения этих целей является разработка соответствующих геометрических моделей и компьютерных технологий.

Актуальными являются исследования, направленные на развитие методов геометрического и компьютерного моделирования рабочего пространства рычажных механизмов применительно к их использованию в среде интегрированных систем компьютерной графики.

Целью настоящей работы является исследование рабочего пространства планарных ТМ средствами геометрического и компьютерного моделирования.

## 1 Теоретические основы

### 1.1 Геометрические модели рабочего пространства планарного ТМ на плоскости

Планарные ТМ - это кинематические механизмы с тремя обобщёнными координатами. Как и двухзвенные, они функционируют подобно человеческим рукам. Результаты их анализа позволяют исследовать более сложные движения, когда манипуляторы имеют число независимых параметров более двух.

Кинематическая (расчётная) схема планарного ТМ показаны на рисунке 1. Заданы длины звеньев  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ , а также углы поворота звеньев  $u$ ,  $v$  и  $w$  (обобщённые координаты).

Зависимости, связывающие координаты центра схвата с обобщёнными координатами манипулятора, определяются системой уравнений:

$$\begin{aligned} x &= x(u, v, w) = l_1 \cdot \cos u + l_2 \cdot \cos(u + v) + l_3 \cdot \cos(u + v + w), \\ y &= y(u, v, w) = l_1 \cdot \sin u + l_2 \cdot \sin(u + v) + l_3 \cdot \sin(u + v + w) \end{aligned} \quad (1)$$

Эти уравнения определяют трёхпараметрическое множество точек (облако) на плоскости. Они позволяют решать прямую задачу кинематики аналитическим методом. В настоящей работе пред-

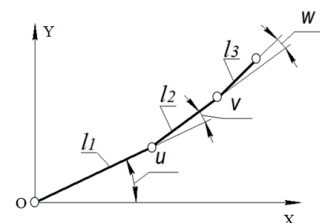


Рисунок 1- Расчётная схема планарного трёхзвенного манипулятора

лагается геометрическое представление этих уравнений и множества точек, описываемых этими уравнениями.

Преобразуя систему уравнений (1) к виду

$$\begin{aligned} x - l_1 \cdot \cos u &= l_2 \cdot \cos(u + v) + l_3 \cdot \cos(u + v + w), \\ y - l_1 \cdot \sin u &= l_2 \cdot \sin(u + v) + l_3 \cdot \sin(u + v + w), \end{aligned} \quad (2)$$

можно получить

$$(x - l_1 \cdot \cos u)^2 + (y - l_1 \cdot \sin u)^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot \cos w. \quad (3)$$

Уравнение (3) определяет семейство эксцентрических окружностей с координатами центров  $x_o = l_1 \cdot \cos u$ ,  $y_o = l_1 \cdot \sin u$ .

Множество этих точек задаёт окружность радиусом  $R_0 = l_1$ . Она является линией центров окружностей радиусами

$$R_i = \sqrt{(l_2)^2 + (l_3)^2 + 2(l_2)(l_3)\cos w}. \quad (4)$$

При этом радиусы окружностей изменяются в диапазоне

$$l_2 - l_3 \leq R \leq l_2 + l_3. \quad (5)$$

График этой функции представлен на рисунке 2 для длин звеньев механизма:

$$l_1 = 15, l_2 = 7, l_3 = 4.$$

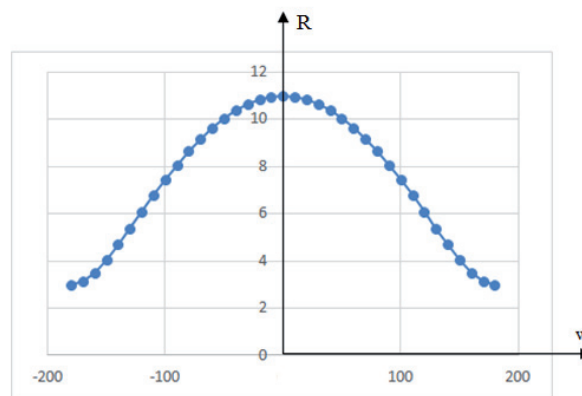


Рисунок 2 - Зависимость радиуса эксцентрических окружностей от параметра  $w$  (в градусах)

Примеры семейств эксцентрических окружностей приведены на рисунке 3.

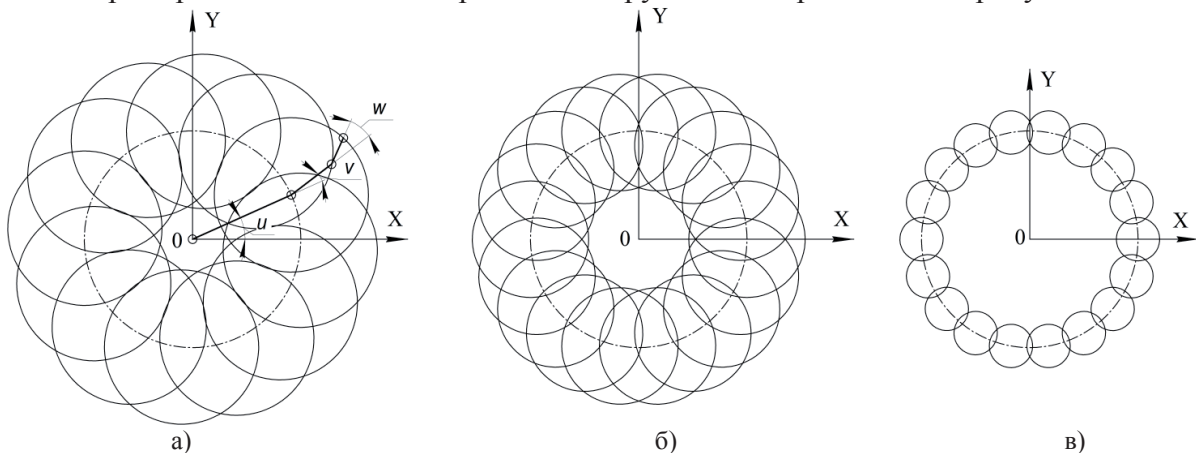


Рисунок 3 – Семейства эксцентрических окружностей для различных значений параметра  $w$ : а)  $w=0^\circ$ , б)  $w=90^\circ$ , в)  $w=180^\circ$

Следующее преобразование уравнений системы (1) приводит к уравнению (6):

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos v + 2 \cdot l_1 \cdot l_3 \cdot \cos(v + w) + 2 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot \cos w. \quad (6)$$

Это уравнение определяет двухпараметрическое семейство концентрических окружностей с центром в начале системы координат и радиусами

$$R_i = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos v + 2 \cdot l_1 \cdot l_3 \cdot \cos(v + w) + 2 \cdot l_2 \cdot l_3 \cdot \cos w}. \quad (7)$$

График функции (7) представлен на рисунке 4.

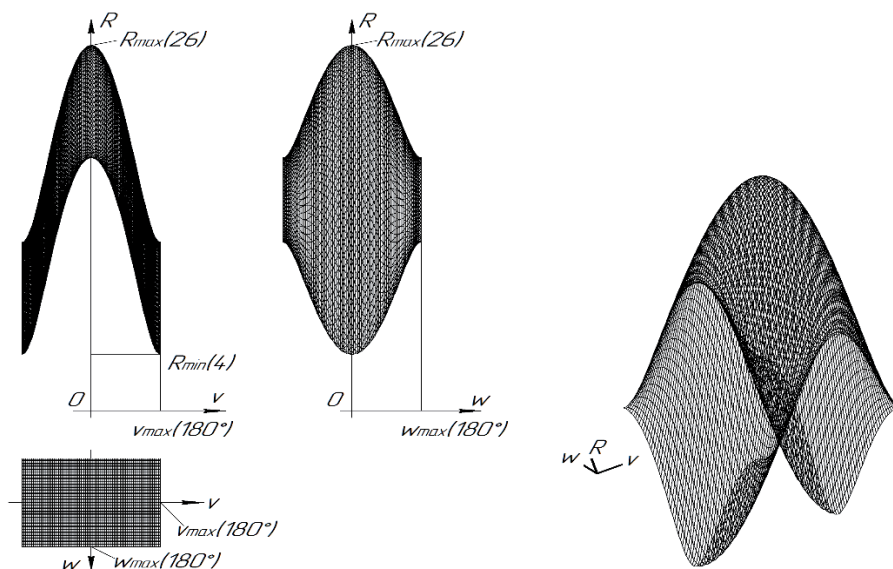


Рисунок 4 – График функции  $R = f(v, w)$ ,  $-180^\circ \leq v \leq 180^\circ$ ,  $-180^\circ \leq w \leq 180^\circ$

Примеры семейств концентрических окружностей приведены на рисунках 5 и 6.

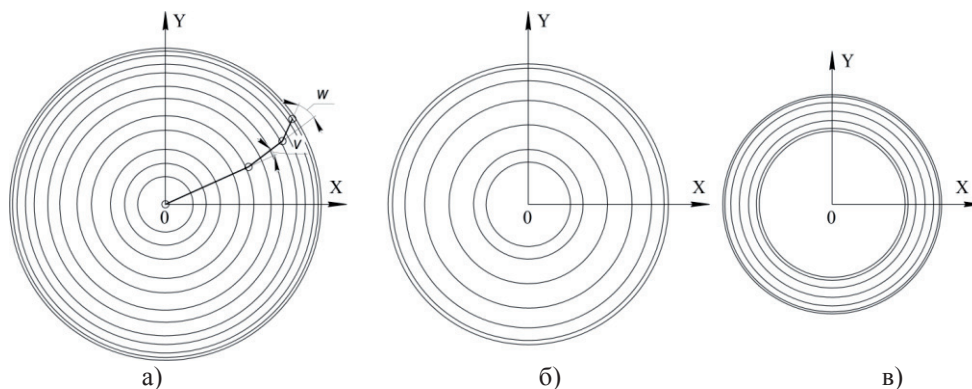


Рисунок 5 – Семейства концентрических окружностей для различных значений параметра  $w$ : а)  $w=0^\circ$ , б)  $w=90^\circ$ , в)  $w=180^\circ$

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- рабочим пространством ТМ является трёхпараметрическое множество точек. На плоскости это множество точек («облако») можно представить в виде двух дисков, включающих диапазон кольцевых рабочих ячеек. На одном диске этот диапазон состоит из двухпараметрического семейства эксцентрических окружностей, а на другом – двухпараметрическое семейство концентрических окружностей;
- геометрическим образом двух множеств является трёхмерный тор [15], являющийся моделью конфигурационного пространства рассматриваемого манипулятора;

- так как данный манипулятор стационарный, то его рабочее пространство совпадает с конфигурационным пространством с учётом возможных ограничений на диапазоны изменения обобщённых координат;
- полученные результаты обобщают известные [1, 10, 16], но имея геометрическую направленность исследования, предоставляют возможность более широкой трактовки понятия двух дисков, а также обладают большей наглядностью.

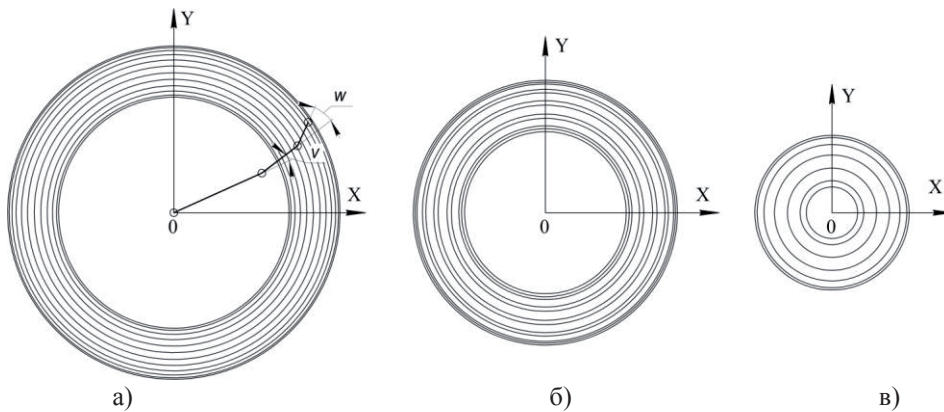


Рисунок 6 – Семейства концентрических окружностей для различных значений параметра  $v$ :  
а)  $v=0^\circ$ , б)  $v=90^\circ$ , в)  $v=180^\circ$

## 1.2 Геометрические модели рабочего пространства планарного ТМ в четырёхмерном пространстве

Полученные результаты определяют рабочее пространство манипулятора и его границы в плоскости механизма, т.е. в системе координат  $XY$ . Однако такие модели, решая прямую задачу кинематики, не позволяют определять значения обобщённых координат по заданному положению точки схвата, т.е. решать обратную задачу. Ниже предлагается новая трактовка системы уравнений (1) с учётом семейств окружностей, описанных в разделе 1.1.

Для каждого фиксированного значения  $u$  предлагается рассматривать семейства окружностей на плоскости (рисунок 3) как проекции окружностей некоторого многообразия из четырёхмерного пространства [17, 18]. Пусть каждая из окружностей этого семейства смещена параллельно гиперплоскости  $XY$  на величину, пропорциональную параметрам  $v$  и  $u$ . Тогда семейство таких окружностей записывается уравнениями:

$$\begin{aligned} x &= x(u, v, w) = l_1 \cdot \cos u + l_2 \cdot \cos(u + v) + l_3 \cdot \cos(u + v + w), \\ y &= y(u, v, w) = l_1 \cdot \sin u + l_2 \cdot \sin(u + v) + l_3 \cdot \sin(u + v + w), \\ z &= P_1 \cdot v, \quad t = P_2 \cdot u, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – некоторые константы.

Эта система уравнений описывает трёхмерную гиперповерхность в четырёхмерном пространстве. Одним из вариантов исследования такой поверхности может быть получение её сечений гиперплоскостями. В качестве примера на рисунке 7 приведены каркасные модели двумерных  $V$ -поверхностей, полученных в сечении гиперповерхности (8) гиперплоскостями  $t_i$ . Семейства этих поверхностей являются циклическими винтовыми поверхностями.

Выполнив аналогичное отображение в четырёхмерное пространство семейства концентрических окружностей, показанных на рисунке 5, но пропорционально параметрам  $w$  и  $u$ , можно получить уравнения:

$$\begin{aligned} x &= x(u, v, w) = l_1 \cdot \cos u + l_2 \cdot \cos(u + v) + l_3 \cdot \cos(u + v + w), \\ y &= y(u, v, w) = l_1 \cdot \sin u + l_2 \cdot \sin(u + v) + l_3 \cdot \sin(u + v + w), \quad z = P_1 \cdot w, \quad t = P_2 \cdot u, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – некоторые константы.

Эта система уравнений описывает ещё одну трёхмерную гиперповерхность в четырёхмерном пространстве. Сечениями этой гиперповерхности гиперплоскостями  $t_i$  являются циклические поверхности с прямолинейными направляющими. На рисунке 8 приведены каркасные модели таких  $W$ -поверхностей.

Поверхностные модели (рисунки 9 и 10), получены на основе каркасных моделей сечений гиперповерхностей. Они предоставляют возможность в режиме визуализации решать как прямую, так и обратную задачи кинематики ТМ.

Таким образом, полученные системы уравнений (8) и (9) задают гиперповерхности, определяющие рабочее пространство ТМ. Для его исследования получены трёхмерные геометрические и компьютерные модели сечений гиперповерхностей. В отличие от двумерных моделей полученные поверхности в наглядном виде с необходимой точностью устанавливают связь «облаков» точек рабочего пространства с обобщёнными координатами. Полученные поверхности позволяют моделировать и находить оптимальные траектории перемещения схвата манипулятора.

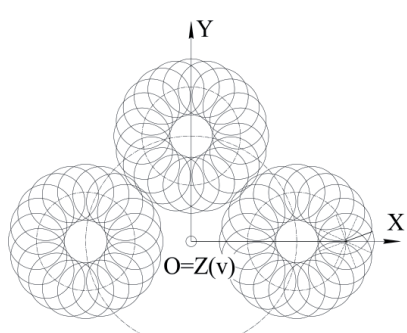
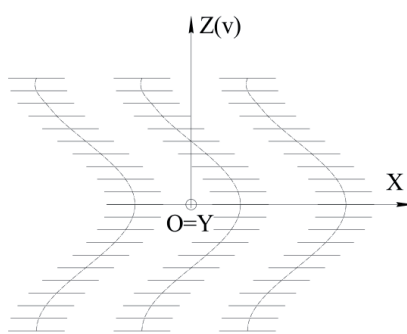


Рисунок 7 - Каркасные модели  $V$ -поверхностей для  $u=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$

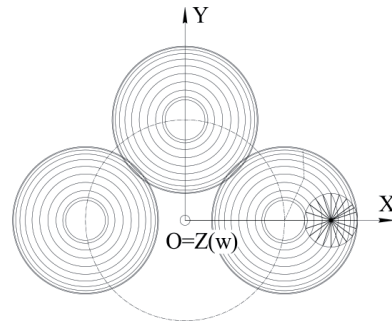
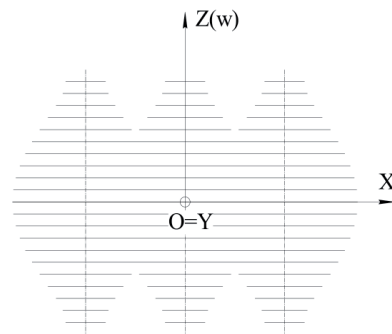


Рисунок 8 - Каркасные модели  $W$ -поверхностей для  $u=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$

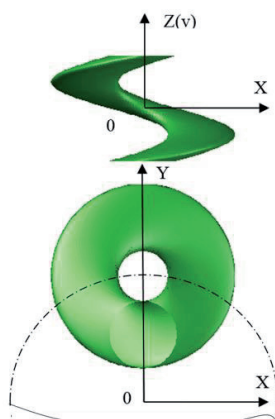


Рисунок 9 – Поверхностная модель  $V$ -поверхности для  $u=90^\circ$

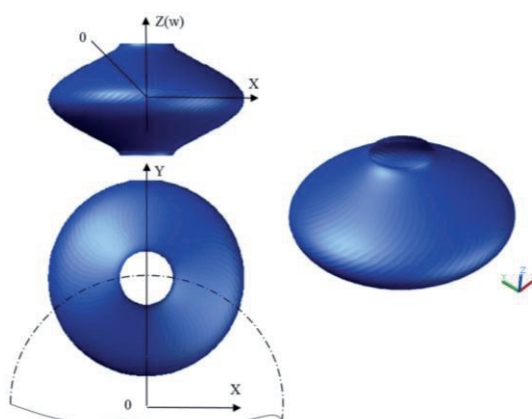


Рисунок 10 – Поверхностная модель  $W$ -поверхности для  $u=90^\circ$

## 2 Результаты компьютерных экспериментов

Проведённые исследования трёхпараметрических семейств точек на плоскости, являющихся рабочим пространством планарного ТМ, позволили получить четырёхмерные анали-

тические и компьютерные модели этого пространства. Компьютерные модели позволяют использовать их для решения как прямой, так и обратной задачи кинематики рассматриваемого механизма. Для подтверждения полученных выводов по разработанным алгоритмам и программам выполнен ряд компьютерных экспериментов. При этом учитывалось, что в промышленных манипуляторах обобщённые координаты изменяются в определённых диапазонах. Ниже приведены результаты двух экспериментов.

На рисунке 11 показана 3D-модель  $V$ -поверхности и совмещённая с ней модель фрагмента рабочего пространства для следующих значений параметров:  $l_1=15$ ,  $l_2=7$ ,  $l_3=4$ ,  $-120^\circ \leq v \leq 120^\circ$ ,  $-120^\circ \leq w \leq 120^\circ$ ,  $u=90^\circ$ . Из рисунка следует, что по этой модели можно получить не только границы рабочего пространства, но и значение обобщённой координаты  $v$  по известным координатам центра схвата.

Рисунок 12 иллюстрирует 3D-модель  $W$ -поверхности и совмещённую с ней модель фрагмента рабочего пространства для следующих значений параметров:  $l_1=15$ ,  $l_2=7$ ,  $l_3=4$ ,  $-120^\circ \leq v \leq 120^\circ$ ,  $-120^\circ \leq w \leq 120^\circ$ ,  $u=90^\circ$ . Из него следует, что по этой модели можно получить не только границы рабочего пространства, но и значение обобщённой координаты  $w$  по известным координатам центра схвата.

Значения обобщённых координат дают решение обратной задачи кинематики исследуемого манипулятора.

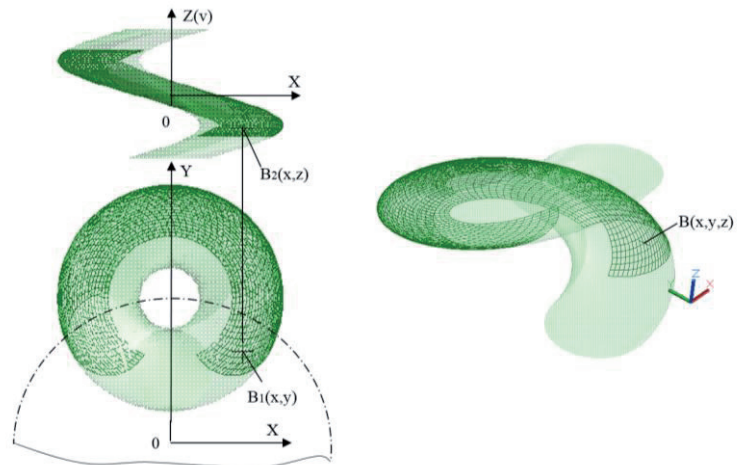


Рисунок 11 - Модель  $V$ -поверхности и совмещённая с ней модель фрагмента рабочего пространства

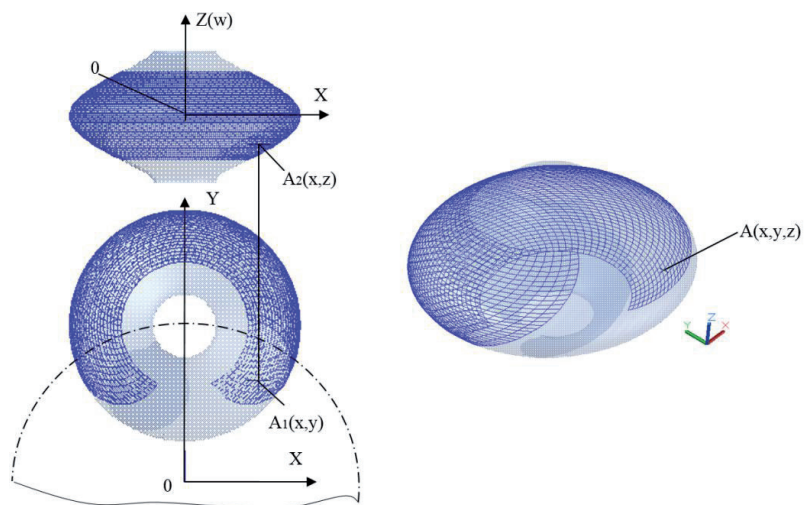


Рисунок 12 – Модель  $W$ -поверхности и совмещённая с ней модель фрагмента рабочего пространства

## Заключение

Выполненная геометрическая трактовка аналитических зависимостей, определяющих трёхпараметрическое семейство точек (облако), задающих рабочее пространство планарного ТМ, позволила получить ряд новых результатов.

На плоскости это множество точек представляет собой два диска, содержащих диапазоны кольцевых рабочих ячеек, состоящих из двухпараметрических семейств эксцентрических и концентрических окружностей. Геометрическим образом этих семейств является трёхмерный тор. Отображением полученных семейств окружностей в четырёхмерное пространство

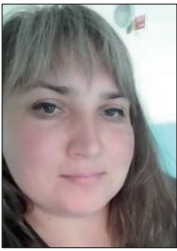
получены два вида гиперповерхностей, являющихся геометрической моделью рабочего пространства манипулятора. Получены сечения этих гиперповерхностей гиперплоскостями. Модели гиперповерхностей и их сечений позволяют решать прямую и обратную задачу кинематики планарного ТМ.

Предметом дальнейших исследований может быть определение границ рабочего пространства ТМ на основе установления дискриминантов полученных поверхностей на гиперплоскостях. Анализ предложенных моделей позволит выявить возможные «мёртвые» зоны рабочего пространства и особенные элементы на его границах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Зенкевич С.Л., Ющенко А.С.** Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ. 2004. 478 с.
- [2] **Duka A.V.** Neural network based inverse kinematics solution for trajectory tracking of a robotic arm. The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2013) Procedia Technology. 12 (2014). P.20–27. DOI: 10.1016/j.protcy.2013.12.451.
- [3] **Aristidou A., Lasenby J.** Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction of a new fast iterative solver. Technical Report. CUED/F-INFENG/TR-632. University of Cambridge. 2009. 74 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-811-9\_3.
- [4] **Angeles J.** Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Theory, Methods and Algorithms. 3-rd ed. Springer. 2007. 550 p.
- [5] **Whitney D. E.** The mathematics of coordinated control of prosthetic Arms and Manipulators. *Engineering, Mathematics, Medicine Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-transactions of The ASME*. 1972. Vol. 94. no. 4. P.19–27. DOI: 10.1115/1.3426611.
- [6] **Denavit J., Hartenberg R. S.** Cinematic notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices. *J. Appl. Mech.* 1955. Vol.77. P. 215–221.
- [7] **Шамраев А.Д.** Обзор методов решения обратной задачи кинематики для манипуляторов. Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования: сб. ст. VI Междунар. науч.-практич. конф. В 3 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение». 2019. С.51–53.
- [8] **Pechev A.N.** Inverse Kinematics without matrix inversion. Proc. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008), 19–23 May, 2008. Pasadena, 2008. P.2005–2012. DOI: 10.1109/ROBOT.2008.4543501.
- [9] **Денисова Е.В., Гурьева Ю.А.** Аналитическое и компьютерное моделирование поверхностей методом криволинейного проецирования // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13. №2(48). С.204-216. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-2-204-216.
- [10] **Zar T., Lin P.W., Win S.Y.** Workspace Analysis of Two-link Planar Manipulator. *International Journal of Science and Engineering Applications*. 2019. Volume 8. Issue 08, P.380-383. DOI: 10.7753/IJSEA0808.1028.
- [11] **Guo W.Z., Gao F., Mekid S.** A new analysis of workspace performances and orientation capability for 3-dof planar manipulators. *International Journal of Robotics and Automation*, 2010. Vol. 25, No.2, P.89-101. DOI: 10.2316/Journal.206.2010.2.206-3326.
- [12] **Zhu J., Tian F.** Kinematics Analysis and Workspace Calculation of a 3-DOF Manipulator. *2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 170 042166. P.1-9. DOI:10.1088/1755-1315/170/4/042166.
- [13] **Abdel-Malek K., Yu W.** Placement of Robot Manipulators to Maximize Dexterity. *International Journal of Robotics and Automation*. 2004. DOI: 10.2316/Journal.206.2004.1.206-2029.
- [14] **Ottaviano E., Husty M., Ceccarelli M.** Identification of the Workspace Boundary Of a General 3-R Manipulator. *Journal of Mechanical Design*. January 2006. 128(1). DOI: 10.1115/1.2120807.
- [15] **Тёрстон У.П., Уукс Д.Р.** Математика трехмерных многообразий. В мире науки. Scientific American. М.: Изд-во «МИР», №9. Сентябрь. 1984. С.76-90.
- [16] **Serweryouns S., Hasan D.S.** Kinematic Workspace Modelling of Two Links Robotic Manipulator. *Anbar Journal Of Engineering Science*. 2020. Vol. 4. P.101-106. DOI: 10.37649/aengs.2020.171281.
- [17] **Thom R.** Sur la theorie des envelopes. *J. de math. pur et appl.* 1962. Vol. 41, № 2. P.177–192.
- [18] **Lyashkov A.A., Sheveleva T.A.** Geometric modeling in the problems of lever mechanism kinematics research. *Journal of Physics: Conference Series*. 14. “XIV International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”. AMSD 2020” 2021. P.012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012053.

## Сведения об авторах



**Шевелева Татьяна Анатольевна**, 1981 года рождения. В 2003 г. окончила Сибирскую автомобильно-дорожную академию, с 2004 г. инженер-конструктор на АО «Омсктрансмаш». Окончила в 2015 г. магистратуру Омского государственного технического университета (ОмГТУ), с 2019 г. аспирант ОмГТУ. Область научных интересов: геометрическое и компьютерное моделирование рабочего пространства манипуляторов. SPIN-код: 5059-6717, ORCID: 0009-0002-2577-8348. [tatyana0781@mail.ru](mailto:tatyana0781@mail.ru) ✉

**Ляшков Алексей Ануфриевич**, 1950 года рождения, окончил с отличием Омский политехнический институт (1973), к.т.н. (1981), д.т.н. (2014). Профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» ОмГТУ. Автор более

100 научных публикаций, а также 13 авторских свидетельств на изобретения. Области научных интересов: геометрическое и компьютерное моделирование изделий машиностроения и процессов их формообразования. SPIN-код: 2377-7912. ORCID: 0000-0003-0100-8584. Scopus Author ID: 55237710400. ResearcherID: C-2426-2017. [3dogibmod@mail.ru](mailto:3dogibmod@mail.ru)



Поступила в редакцию 05.01.2024, после рецензирования 05.02.2024. Принята к публикации 12.02.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-71-81

## Modeling the workspace of a three-link planar manipulator

© 2024, Т.А. Sheveleva ✉, А.А. Lyashkov

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

### Abstract

A study of the working space of a three-link planar manipulator was carried out. The basis is taken from analytical dependencies that allow solving the direct problem of kinematics, i.e. determine the coordinates of the gripper center point using three generalized coordinates of the manipulator. The analysis performed made it possible to give a geometric interpretation of the dependencies. It has been established that the workspace of the manipulator is a three-parameter set of points. On a plane, this set of points is represented in the form of two disks consisting of ring cells, for which the corresponding analytical dependencies are obtained. The geometric image of this set is a three-dimensional torus. The resulting models are visualized, which facilitates the solution of this problem. To determine the values of the generalized coordinates of the gripper center points, a mapping was carried out by orthogonal projection of the families of circles obtained in the work into four-dimensional space. As a result, three-dimensional hypersurfaces in four-dimensional space were obtained. It is proposed to study them by constructing hypersurface sections models by hyperplanes. Such models in visualization mode allow solving direct and inverse kinematics problems of the manipulator under study.

**Keywords:** *geometric modeling, manipulators, workspace, hypersurface, visualization.*

**For citation:** Sheveleva T.A., Lyashkov A.A. Modeling the workspace of a three-link planar manipulator [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(1): 71-81. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-71-81.

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

### List of figures

Figure 1 - Design diagram of a three-link planar manipulator

Figure 2 - Graph of the radius of eccentric circles depending on the parameter  $w$  (in degrees)



- Figure 3 - Families of eccentric circles for different values of the parameter  $w$ : a)  $w=0^\circ$ , b)  $w=90^\circ$ , c)  $w=180^\circ$   
 Figure 4 - Graph of the function  $R = f(v, w)$ ,  $-180^\circ \leq v \leq 180^\circ$ ,  $-180^\circ \leq w \leq 180^\circ$   
 Figure 5 - Families of concentric circles for different values of the parameter  $w$ : a)  $w=0^\circ$ , b)  $w=90^\circ$ , c)  $w=180^\circ$   
 Figure 6 - Families of concentric circles for different values of the parameter  $v$ : a)  $v=0^\circ$ , b)  $v=90^\circ$ , c)  $v=180^\circ$   
 Figure 7 - Wireframe models of V-surfaces for  $u=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$   
 Figure 8 - Wireframe models of W-surfaces for  $u=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$   
 Figure 9 - Surface model of V-surface for  $u=90^\circ$   
 Figure 10 – Surface model of W-surface for  $u=90^\circ$   
 Figure 11 – V-surface model and a workspace fragment model combined with it  
 Figure 12 – W-surface model and a workspace fragment model combined with it

## References

- [1] **Zenkevich SL, Yushchenko AS.** Fundamentals of manipulation robots control [In Russian]. Moscow: MSTU Publishing House, 2004. 478 p.
- [2] **Duka AV.** Neural network based inverse kinematics solution for trajectory tracking of a robotic arm. The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2013) Procedia Technology. 12 (2014). P.20–27. DOI: 10.1016/j.protcy.2013.12.451.
- [3] **Aristidou A, Lasenby J.** Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction of a new fast iterative solver. Technical Report. CUED/F-INFENG/TR-632. University of Cambridge. 2009. 74 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-811-9\_3.
- [4] **Angeles J.** Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Theory, Methods and Algorithms. 3-rd ed. Springer. 2007. 550 p.
- [5] **Whitney DE.** The mathematics of coordinated control of prosthetic Arms and Manipulators. *Engineering, Mathematics, Medicine Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-transactions of The ASME.* 1972; 94(4): 19–27. DOI: 10.1115/1.3426611.
- [6] **Denavit J, Hartenberg RS.** Cinematic notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices. *J. Appl. Mech.* 1955; 77: 215–221.
- [7] **Shamraev AD.** Review of methods for solving the kinematics inverse problem for manipulators [In Russian]. Fundamental principles of innovative development of science and education: collection. Art. VI Int. scientific-practical conf. At 3 p.m. 1. Penza: ICNS “Science and Education”. 2019. P.51–53.
- [8] **Pechev AN.** Inverse Kinematics without matrix inversion. *Proc. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2008)*, 19–23 May, 2008. Pasadena, P.2005–2012. DOI: 10.1109/ROBOT.2008.4543501.
- [9] **Denisova EV, Guryeva Yu.A.** Analytical and computer modeling of surfaces using the method of curvilinear projection [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2023; 13(2): 204-216. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-2-204-216.
- [10] **Zar T, Lin PW, Win SY.** Workspace Analysis of Two-link Planar Manipulator //International Journal of Science and Engineering Applications. 2019; 8(08): 380-383. DOI: 10.7753/IJSEA0808.1028.
- [11] **Guo WZ, Gao F, Mekid S.** A new analysis of workspace performances and orientation capability for 3-dof planar manipulators. *International Journal of Robotics and Automation,* 2010; 25(2): 89-101. DOI: 10.2316/Journal.206.2010.2.206-3326.
- [12] **Zhu J, Tian F.** Kinematics Analysis and Workspace Calculation of a 3-DOF Manipulator. *2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 170 042166 P.1-9. DOI:10.1088/1755-1315/170/4/042166.
- [13] **Abdel-Malek K, Yu W.** Placement of Robot Manipulators to Maximize Dexterity. *International Journal of Robotics and Automation.* 2004. DOI: 10.2316/Journal.206.2004.1.206-2029.
- [14] **Ottaviano E, Husty M, Ceccarelli M.** Identification of the Workspace Boundary of a General 3-R Manipulator. *Journal of Mechanical Design.* January 2006. DOI: 10.1115/1.2120807.
- [15] **Thurston WP, Weeks DR.** Mathematics of three-dimensional manifolds. In the world of science [In Russian]. Scientific American. Publishing house "MIR" Moscow, No. 9. September. 1984. P.76-90.
- [16] **Serveryouns S, Hasan DS.** Kinematic Workspace Modelling of Two Links Robotic Manipulator. *Anbar Journal Of Engineering Science.* 2020; 4: 101-106. DOI: 10.37649/aengs.2020.171281.
- [17] **Thom R.** Sur la theorie des envelopes. *J. de math. pur et appl.* 1962; 41(2): 177–192.
- [18] **Lyashkov AA, Sheveleva TA.** Geometric modeling in the problems of lever mechanism kinematics research. *Journal of Physics: Conference Series.* 14. Ser. “XIV International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”. AMSD 2020” 2021. P.012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1791/1/012053.

## About the authors

**Tatyana Anatolyevna Sheveleva** (b. 1981) graduated from the Siberian Automobile and Highway Academy in 2003. A master graduate, she has now been a postgraduate student at the Omsk State Technical University since 2019. Design engineer at Omsktransmash JSC (since 2004). The area of scientific interests includes geometric and computer modeling of the working space of manipulators. SPIN: 5059-6717, ORCID: 0009-0002-2577-8348. [tatyana0781@mail.ru](mailto:tatyana0781@mail.ru) ✉

**Alexey Anufrievich Lyashkov** (b. 1950) graduated with honors from the Omsk Polytechnic Institute (1973), doctor of technical sciences (2014). Professor of the Department of Engineering Geometry and CAD at the OSTU. Author of more than 100 scientific publications, as well as a holder of 13 USSR copyright certificates for inventions. Areas of scientific interests are geometric and computer modeling of mechanical engineering products and processes of their formation. SPIN-код: 2377-7912, ORCID: 0000-0003-0100-8584, Scopus Author ID: 55237710400, ResearcherID: C-2426-2017, [3dogibmod@mail.ru](mailto:3dogibmod@mail.ru).

---

*Received January 5, 2024. Revised February 05, 2024. Accepted February 12, 2024.*

---

## ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 81'322.2

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-82-93



### Применение методов машинного обучения для выявления аргументативных связей в текстах научной коммуникации

© 2024, Н.В. Саломатина ✉, Е.А. Сидорова, И.С. Пименов

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосибирск, Россия

#### Аннотация

Представлены результаты экспериментов по оценке применимости методов машинного обучения для решения задачи распознавания аргументативных связей в текстах научной коммуникации. Под аргументативной связью понимается отношение, связывающее посылку и заключение типового рассуждения или аргумента, используемого автором для убеждения аудитории. Для оценки качества применялись характеристики точности, полноты и  $F$ -меры, полученные при решении задачи распознавания аргументативных связей между смежными текстовыми фрагментами двух видов: предложений и клауз. Базой эксперимента послужил русскоязычный корпус текстов из области научной коммуникации с размеченной экспертами-лингвистами аргументацией. Для разметки использован инструмент *ArgNetBank Studio*, позволяющий создавать коллекции текстов с детализированной разметкой аргументации. На основе размеченных текстов построены наборы данных для машинного обучения, в которых соотношение связанных и несвязанных аргументативными отношениями пар фрагментов текста (предложений или клауз) составило 1 к 3. Для повышения качества обучения моделей наборы были сбалансированы двумя способами. В первом случае баланс достигался за счёт того, что из каждого текста отбиралось равное количество пар обоих типов, во втором – пары дублировались. На полученных наборах данных проведены эксперименты по связыванию фрагментов текста методами машинного обучения разных типов. Экспериментально определён диапазон изменения оценок качества при распознавании связанных фрагментов в зависимости от их доли в обучающей и тестовой коллекциях. Установлено, что в рамках существующего дисбаланса в реальных коллекциях значения оценок качества могут изменяться в пределах 40–50%. Новизна работы заключается в исследовании диапазона возможных расхождений в оценках качества при применении разных методов машинного обучения на сбалансированных и несбалансированных обучающих и тестовых коллекциях на русскоязычном материале.

**Ключевые слова:** научная коммуникация, анализ аргументации, аргументативная разметка текста, аргументативные отношения, методы машинного обучения.

**Цитирование:** Саломатина Н.В., Сидорова Е.А., Пименов И.С. Применение методов машинного обучения для выявления аргументативных связей в текстах научной коммуникации // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №1(51). С.82-93. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-82-93.

**Финансирование:** исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-11-00261, <https://rscf.ru/project/23-11-00261/>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Введение

Во многих приложениях, осуществляющих автоматический анализ текстов, важно учитывать аргументационную составляющую, в частности, для оценки их убедительности, понимания и ведения дискуссий, принятия решений в рекомендательных системах и т.д. В этих случаях структура аргументации должна распознаваться автоматически. Для решения этой

задачи преимущественно применяются методы машинного обучения (МО), что предполагает наличие корпусов с аргументационной разметкой. Разметка аргументации трудоёмка, требует экспертных навыков семантического и прагматического анализа текстов и, как следствие, не может быть осуществлена с помощью краудсорсинга. Существующие наборы данных имеют небольшой объём, а наличие нескольких моделей аргументации, употребляемых для разметки разными группами исследователей, осложняет решение задачи. Поэтому, несмотря на преимущества глубокого обучения, часто (особенно в случае дефицита данных) используют традиционные методы МО, которые в ряде случаев показывают сравнимые результаты с полученными при применении нейронных сетей (НС).

Автоматическое извлечение отдельных аргументов и построение аргументативной структуры текста выполняется в несколько этапов, которые также проходит аннотатор при ручной разметке аргументации [1], в частности: 1) выявление фрагментов текста, содержащих аргументацию; 2) построение связей между аргументативными фрагментами (распознавание аргументов); 3) уточнение ролей фрагментов в составе аргумента (посылок, выводов); 4) выявление типов аргументов (схем аргументации).

Установление связей между фрагментами является самой сложной задачей в области анализа аргументации [1, 2]. Наилучшие результаты достигаются при существенных ограничениях, таких как ограничение определённой предметной областью, заданной сегментацией, поиском связей с заданным тезисом и т.п. Без вводимых ограничений качество получаемых результатов, как правило, значительно ниже. Важную роль в систематизации различных исследований играет наличие эталонного или базового решения (ЭР), т.е. решения, полученного традиционными методами без привлечения какой-либо дополнительной информации. Применительно к задаче извлечения аргументативных отношений это означает отсутствие какой-либо информации о фрагментах текста, кроме наличия/отсутствия связи между ними. Такие решения могут в дальнейшем служить оценкой эффективности других разрабатываемых методов, в которых часто находят применение различные дополнительные признаки.

Одной из особенностей, делающих данную задачу труднорешаемой, является отсутствие формальных критериев выделения границ утверждений, входящих в аргументацию. Обычно в исследованиях рассматривают фрагменты-предложения. Однако сложные предложения могут содержать аргументы внутри себя, и если рассматривать в качестве фрагмента целое предложение, то аргумент, содержащийся внутри, будет утрачен. Использование клауз (конструкций с единственным предикативным элементом) позволяет рассматривать более подробную аргументативную разметку, но делает создание размеченных корпусов более трудоёмким, а наборы данных менее сбалансированными.

В настоящей работе проводится сравнение методов решения этой задачи на материале размеченного корпуса русскоязычных текстов из области научной коммуникации. Цель исследования – получить оценки качества для традиционных методов МО на этапе связывания утверждений в аргумент посредством обработки фрагментов двух типов (предложений и клауз), установить диапазон изменения оценок качества для сбалансированных и несбалансированных коллекций. Использовались три алгоритма классификации, часто применяемые в исследованиях по извлечению аргументации из текстов: полиномиальный наивный Байес (*MNB*), метод опорных векторов (*SVM*), многослойный перцептрон (*MLP*).

## 1 Подходы к распознаванию аргументативных связей

В работах по распознаванию в тексте аргументации, в т.ч. и аргументативных связей, ЭР не указывается вовсе или вычисляется авторами с учётом особенностей каждого эксперимента, что затрудняет сравнение полученных результатов с другими исследованиями. Чаще

представляются подходы, опирающиеся на использование дополнительной информации: о модели (схеме) рассуждения [3, 4], о структуре (роли компонентов) аргумента [5], о дискурсивных маркерах и аргументативности фрагментов [6], о маркерах дискурса и тематической структуре текста [7, 8], о контекстной информации и теме [9].

В ряде работ проводится сравнение методов на основе глубокого обучения и традиционных методов МО. Так, в работе [2] приведены оценки по  $F$ -мере, достигнутые по результатам обнаружения аргументативных связей в *CDCP*-корпусе<sup>1</sup> (более 700 комментариев пользователей о практике взыскания долгов) с помощью рекуррентных НС. В одном случае НС уступает по эффективности обнаружения аргументативных связей алгоритму *SVM* с векторными представлениями *GloVe*<sup>2</sup>, в другом превосходит его [10]. При этом ЭР в явном виде не фиксируются, достаточным считается сравнение алгоритмов на одном и том же корпусе.

Результаты применения модели *ruRoberta*<sup>3</sup> и полносвязных НС для связывания смежных фрагментов из русскоязычных научных и научно-популярных текстов в аргумент с известной информацией об аргументативности хотя бы одного фрагмента и наличии маркера дискурса в тексте представлены в работе [6].

Поиск аргументативных связей может опираться на распознавание модели рассуждения (схемы). Обнаружение такой модели означает, что связь между составляющими этого рассуждения установлена. На базе разнотипных лексических констант (маркеров дискурса и др.) строятся лексико-синтаксические шаблоны, поиск по которым позволяет решать задачу извлечения аргументов комплексно: определять связанные фрагменты, устанавливать тип связи и роли фрагментов (компонентов аргумента). Исследование, проведённое в работе [3] на материале английского языка, посвящено автоматической классификации аргументов по пяти схемам, наиболее частотным в обрабатываемой коллекции: «от примера» (*Example*), «причина-следствие» (*Cause to Effect*), «от практической цели» (*Practical Reasoning*) и др. Набор признаков включал как общие для всех схем признаки (позиционные характеристики, длину интервала между ними в тексте и пр.), так и особенности каждой схемы (от ключевых слов и знаков препинания до синтаксических зависимостей). Применён алгоритм дерева решений, оценки качества работы которого зависели от анализируемой схемы: значения аккуратности составляли от 60 до 90%, тогда как значения ЭР, достигнутые на общих признаках, равны 50%.

Для поиска в русскоязычных текстах рассуждения «от экспертного мнения» в [4] разработан шаблон, точность распознавания по которому составила 86,5%. Известны шаблоны, работающие с точностью 75%, 91% и 86% для поиска рассуждений «от примера», «по аналогии», «согласно классификации», соответственно, в текстах на русском языке [11]. Использование в этих шаблонах дискурсивных маркеров потребовало проведения предобработки текста, а именно, классификации фрагментов на аргументативные и неаргументативные. Значения ЭР не указывались, сравнение результатов с ними не проводилось.

Недостатком комплексного решения задачи поиска связей с использованием шаблонов является трудоёмкость их создания, а поиск по ним не гарантирует построения полного связного графа рассуждений в тексте.

Знания об аргументативности и роли фрагментов использовались при установлении связи в работе [5]. Клаузы, предварительно выделенные в тексте эссе, классифицировались по их типу: главное утверждение, утверждение, посылка, неаргументативное утверждение. Свя-

<sup>1</sup> *Cornell eRulemaking Corpus – CDCP* - это корпус для анализа аргументов, снабжённый информацией о структуре аргументации, отражающей возможность оценки аргументов. <https://paperswithcode.com/dataset/cdcp>.

<sup>2</sup> *Global Vectors for Word Representation - GloVe* - это неконтролируемый алгоритм обучения для получения векторных представлений слов. <https://nlp.stanford.edu/projects/glove/>.

<sup>3</sup> *ruRoBERTa large* - русская языковая модель, которая может определять вероятности следующего и пропущенного слова и эффективно представлять слова и тексты в векторном пространстве. <https://cloud.ru/ru/datahub/rugpt3family/ruroberta-large>.

зывание клауз осуществлялось посредством бинарной классификации: все возможные в рамках одного абзаца пары идентифицировались как связанные или нет. Лучшие результаты достигнуты с помощью метода *SVM* с *F*-мерой равной 72%. Эффективными признаками признаны лексические (пары слов, первое слово в утверждении и модальные слова), синтаксические (продукционные правила, извлечённые из дерева синтаксического разбора) и маркеры дискурса. Значения ЭР определены исходя из критерия Мак-Немара.

Результаты экспериментов, представленные в [9], показывают, что признаки из экспериментов в работе [5], обогащённые тематическими словами, общими словами из контекста аргументативных утверждений (рассматриваются предложения внутри абзаца), дискурсивными маркерами эффективны для установления связей и их типов на уровне наличия связи или её отсутствия, типа связи («поддержки» или «атаки»). Эксперименты на данных студенческих эссе демонстрируют *F*-меру 75% в первом случае и 67% – во втором. Значениями ЭР служат оценки качества, полученные в [5].

В статье [8] связанность аргументативных утверждений определяется с помощью автоматически генерируемых тематических моделей. Модели формируются на основе предложений с маркерами, позволяющими определить роли фрагментов предложения, из документов, найденных в сети Интернет по ключевым словам, извлечённым из предварительно распознанных как аргументативные утверждения текста. На основе пар посылка–заключение генерируется тематическая модель, на основе которой строится матрица вероятностей соотношения темы посылки и темы заключения. По полученной матрице для каждой пары утверждений исходного текста рассчитывается вероятность того, что эти утверждения связаны. Получены следующие оценки качества: по точности – 60%, полноте – 82%, *F*-мере – 69%. В качестве базовых значений приняты значения, соответствующие случайным – 50%.

Большинство исследований по анализу аргументации выполнено на текстах английского языка. Обзор работ показывает, что общепринятого подхода к вычислению ЭР нет. В условиях дефицита русскоязычных коллекций с детализированной разметкой аргументации в данной статье для формирования ЭР использованы традиционные методы МО, показавшие наилучшие решения в рассмотренных работах, и простейшее представление вектора данных без использования дополнительных сведений о свойствах этих данных.

## 2 Моделирование аргументации

Обучающая и тестовая коллекции, исследуемые в эксперименте, содержат тексты с экспертной разметкой (аннотацией) аргументации. Аннотирование каждого текста заключается в построении формального представления его аргументативной структуры, которая объединяет все приводимые в тексте аргументы. В текстовом оформлении аргумент выражается набором связанных утверждений (фрагментов текста на естественном языке), где все утверждения (называемые посылками), кроме одного (заключения), обосновывают это одно утверждение (либо, в случае атаки на это утверждение, опровергают его). Связь утверждений внутри аргумента соответствует реализации конкретной модели рассуждения. Посылка и заключение одного аргумента могут быть посылкой или заключением другого. Связи между утверждениями позволяют объединить их в аргументативную структуру текста.

В качестве примера аргументативной разметки рассмотрен абзац, взятый из рецензии на научную статью (предложения пронумерованы для наглядности):

(1) *Непоследовательность прослеживается и в выводах.* (2) *Первый («В результате анализа было выявлено, что практически все игровые виды спорта пользуются популярностью в качестве рекреационного времяпрепровождения».) в работе вообще не исследовался.* (3) *А второй («Они отражают географические названия тех местностей и городов, где они впервые появились и доносят разного рода информацию».) носит предельно «школьный» характер и не заслуживает доведения до внимания научного сообщества.*

Данный абзац содержит три предложения, где:

- (1)-(2) между первым (заключением) и вторым (посылкой) предложениями выстроена связь по аргументативной схеме часть–целое;
- (2)-(3) между вторым и третьим предложениями нет непосредственной аргументативной связи;
- (1)-(3) третье предложение содержит посылку к первому по аналогичной аргументативной схеме (не является посылкой либо заключением ко второму предложению).

При обработке на уровне клауз в абзаце выделяются восемь фрагментов (одна клауза в первом предложении, три во втором, четыре в третьем), где при аргументативной разметке указана дополнительная связь между двумя последними фрагментами:

от: *А второй носит предельно «школьный» характер* (посылка)

к: *и не заслуживает доведения до внимания научного сообщества* (заключение)

аргументативная схема: «апелляция к личности».

Моделирование аргументации соответствует стандарту формата обмена аргументами (*Argument Interchange Format, AIF*) [12]. *AIF* определяет основные этапы аргументативной разметки: идентификация утверждений, обнаружение связей между ними, указание модели рассуждения для каждой связи. Выявление связей включает уточнение роли утверждений в аргументах (какие утверждения являются посылками, а какие – заключением). Специфика моделей рассуждений предполагает их выбор из принятой классификации, в частности из сборника схем аргументации Уолтона [13], примененного к текстам различных жанров и рекомендованного разработчиками *AIF*.

Аргументативная разметка текстов, используемая в эксперименте, выполнена экспертами с использованием онлайн-платформы *ArgNetBank Studio* (<https://uniserv.iis.nsk.su/arg>) [14].

### 3 Выявление аргументативных связей

Решается задача классификации множества смежных фрагментов:

$FR = \{fr_i \parallel fr_{i+1}\}$ , где  $i$  – позиция фрагмента в тексте,

$FR = FR^L \cup FR^T$ , где  $FR^L$  – обучающая коллекция,  $FR^T$  – тестовая коллекция,

на два класса из множества категорий:

$R = \{r^+, r^-\}$ , где  $r^+$  – класс связанных, а  $r^-$  – несвязанных фрагментов.

Для смежных фрагментов в обучающей коллекции  $FR^L \subset FR$  известны метки из  $R$ . На ней строится классификатор  $F: FR \times R \rightarrow \{\text{истина, ложь}\}$ .

Для получения базовых оценок качества распознавания связи в данном исследовании выбирается простейшее векторное представление фрагментов леммами. Для уменьшения размерности проводится автоматическая фильтрация лемм по частоте и формальному критерию  $\chi^2$ , позволяющему устранить из вектора леммы, малоинформативные для установления связности фрагментов. Пороги по информативности признаков определяются экспериментально. Для исследования выбраны три алгоритма классификации: *MNB*, *SVM* и *MLP*. Использовались программные реализации алгоритмов на *Python* из библиотеки [15].

#### 3.1 Экспериментальное исследование выявления аргументативных связей

Оценки качества получены на корпусе из 146 русскоязычных текстов, относящихся к области «научная коммуникация», а именно: рецензии на научные статьи, короткие научные статьи по информационным технологиям и лингвистике, новости науки, аналитические статьи с сайта Хабр [16]. К разметке корпуса были привлечены четыре аннотатора - специали-

сты в области лингвистики, в т.ч. компьютерной. Аннотированный корпус содержит 10295 предложений или 27159 клауз.

Оценка согласия между аннотаторами проведена на подкорпусе из 50 текстов с дублированной разметкой по алгоритму из работы [17], не учитывающему случайные совпадения в разметке. Сравнение аннотаций, построенных разными экспертами для одних и тех же текстов, показывает, что доля совпадающих связей, определённых по совокупности совпадающих утверждений (их доля равна 83%), достигает 55%. Это соответствует нижней границе, поскольку отдельные формально несовпадающие связи в разных конфигурациях, параллельных или последовательных, являются допустимыми различиями.

Корпус, на котором проведены эксперименты, содержал одну версию аннотации для каждого текста. Корпус разделялся на обучающую и тестовую коллекции в пропорции 80% и 20% соответственно. Данные для коллекций формировались путём прохода по тексту скользящим окном шириной в два фрагмента (предложения или клаузы). Распределение фрагментов по коллекциям сохраняло целостность текстов (любые два фрагмента из одного и того же текста принадлежат одной и той же коллекции), поскольку эксперименты показали, что нарушение этого принципа существенно завышает показатели качества.

Соотношение числа смежных и несмежных связей в коллекции зависит от многих факторов (жанра и темы текста, стиля изложения аргументации автором, стиля разметчика), влияющих на выбор схем при построении аргументации, которые определяют контактность/ неконтактность посылок и заключения. Разбалансировка связанных и несвязанных пар в построенной коллекции достигала соотношения 1 к 3 в пользу несвязанных. Чтобы получить возможный диапазон оценок качества, проведены эксперименты как с несбалансированными вариантами тестовых и обучающих коллекций ( $FR^L$ ), так и со сбалансированными: в коллекции  $FR^{L1}$  оставлено оригинальное соотношение связанных и несвязанных пар; в  $FR^{L2}$  и  $FR^{L3}$  соотношение пар сбалансировано. Баланс достигнут за счёт того, что: в первом случае из каждого текста отбиралось равное количество пар обоих типов (если число пар одного типа превышало число для другого, то из текста отсеивались случайные пары первого типа сверх их количества для второго); во втором – дублировались пары связанных фрагментов.

Для создания векторных представлений пар фрагментов в качестве признаков использованы леммы. Значения компонентов вектора – бинарные (соответствуют встречаемости/ отсутствию леммы во фрагменте). Векторизация (на этапах обучения и распознавания) заключалась в построении отдельных векторов для каждого из двух фрагментов и их последующей конкатенации в общий вектор. Раздельная обработка обоих фрагментов позволила учитывать позиционную специфику лемм, их влияние на наличие/отсутствие связи с соседним предложением в зависимости от контекста (располагается соседнее предложение справа или слева). Позиционная специфика лемм учитывалась и при формальной фильтрации признаков: наборы признаков строились отдельно для обеих позиций (слева/справа) с учётом: во-первых, частоты лемм (встречаемости во фрагментах соответствующей позиции, как минимум в 5 предложениях либо в 10 клаузах для каждого из двух типов фрагментов); во-вторых, их связи с распределением классов (по критерию  $\chi^2$ : для обоих типов фрагментов выбирались 20% лемм, наиболее информативных в указании на класс пары).

Результаты эксперимента с одинаковым распределением по двум классам (наличие или отсутствие аргументативной связи) приведены в таблице 1. Полужирным шрифтом выделены лучшие значения оценок качества. Используются обозначения:  $P$ ,  $R$  – точность и полнота соответственно. По точности идентификации аргументативной связи лучшие результаты показал метод  $SVM$ , по полноте –  $MNB$ . Оценки качества, полученные для предложений и клауз, в целом близки (максимум расхождения: 6% по точности, 15% по полноте, 7% по  $F$ -мере), для предложений они часто выше, в т.ч. для сбалансированных коллекций. Вид балан-



сировки обучающей коллекции сказались, в основном, на показателях полноты и, как следствие,  $F$ -меры. Балансировка коллекций дублированием недостающих экземпляров класса менее эффективна, чем фильтрация лишних элементов, проведённая случайным образом.

Таблица 1 – Результаты экспериментов с одинаковым распределением в обучающей и тестовой коллекции

		Точность ( $P$ )			Полнота ( $R$ )			$F$ -мера		
		$MNB$	$SVM$	$MLP$	$MNB$	$SVM$	$MLP$	$MNB$	$SVM$	$MLP$
$FR^{L1}$	предл.	0.36	<b>0.45</b>	0.31	0.15	0.13	<b>0.27</b>	0.21	0.20	<b>0.29</b>
	клаузы	0.34	<b>0.39</b>	0.29	<b>0.12</b>	0.09	<b>0.12</b>	0.17	0.14	<b>0.27</b>
$FR^{L2}$	предл.	0.57	<b>0.59</b>	0.57	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	0.55	0.57	<b>0.58</b>	0.56
	клаузы	0.55	<b>0.63</b>	0.56	<b>0.59</b>	0.58	0.54	0.57	<b>0.61</b>	0.55
$FR^{L3}$	предл.	0.48	<b>0.64</b>	0.56	<b>0.45</b>	0.34	0.27	<b>0.46</b>	0.45	0.37
	клаузы	0.53	<b>0.61</b>	0.57	<b>0.40</b>	0.27	0.29	<b>0.45</b>	0.38	0.39

Для случая неодинакового распределения связанных и несвязанных пар фрагментов в обучающей и тестовой коллекциях проведён эксперимент, позволяющий получить представление о нижней границе оценок качества: обучение проведено на сбалансированных коллекциях, в тестовой коллекции сохранена свойственная всей коллекции диспропорция (см. таблицу 2).

Сравнение оценки качества в таблице 1 варианта  $FR^{L1}$  с результатами в таблице 2 показало, что разница в распределениях пар фрагментов в обучающей и тестовой коллекциях влечёт за собой некоторое понижение точности распознавания связей, но значительно повышает полноту при обучении на сбалансированной коллекции.

Таблица 2 – Результаты экспериментов с неодинаковым распределением в обучающей и тестовой коллекции

		Точность ( $P$ )			Полнота ( $R$ )			$F$ -мера		
		$MNB$	$SVM$	$MLP$	$MNB$	$SVM$	$MLP$	$MNB$	$SVM$	$MLP$
$FR^{L2}$	предл.	0.28	<b>0.33</b>	0.29	<b>0.57</b>	0.56	0.56	0.37	<b>0.42</b>	0.38
	клаузы	0.25	<b>0.31</b>	0.25	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	0.55	0.35	<b>0.41</b>	0.35
$FR^{L3}$	предл.	0.24	<b>0.38</b>	0.30	<b>0.45</b>	0.34	0.27	0.31	<b>0.36</b>	0.29
	клаузы	0.27	<b>0.34</b>	0.31	<b>0.40</b>	0.27	0.29	<b>0.32</b>	0.30	0.30

При смещении баланса в коллекции в сторону связанных пар оценки качества их распознавания могут возрасти, но в реальных текстах научной коммуникации случаи с дисбалансом в пользу связанных смежных пар маловероятны. По данным таблиц можно установить примерный диапазон изменения показателей качества:

- для предложений:  $0.24 \leq P \leq 0.64$ ,  $0.13 \leq R \leq 0.57$ ,  $0.20 \leq F\text{-мера} \leq 0.58$ ;
- для клауз:  $0.25 \leq P \leq 0.63$ ,  $0.09 \leq R \leq 0.59$ ,  $0.14 \leq F\text{-мера} \leq 0.57$ .

### 3.2 Анализ результатов

Анализ результатов распознавания связей позволил выявить три основных типа ошибок, общих для обоих видов фрагментов.

#### 3.2.1 Ошибки, связанные с узким контекстом рассматриваемых связей

Наиболее распространённый случай ошибочного распознавания связей обусловлен спецификой аргументативного аннотирования целостных текстов. При ручной разметке аргументации в тексте эксперты учитывают широкий контекст даже для выделения отдельных связей: ориентируются на логическую организацию текста, анализируют роль частных утверждений и связей между ними в доказательстве автором его ключевых тезисов. Автоматическое выявление связей в эксперименте ограничено предельно узким контекстом: непо-

средственно парой фрагментов, проверяемых на наличие объединяющей их аргументативной связи. Для данного типа ошибок можно выделить два основных подтипа в зависимости от специфики аргументативного аннотирования фрагментов в исходном тексте.

1. Классификаторы (зачастую все три алгоритма сразу) устанавливают связь между фрагментами ввиду наличия в них явных дискурсивных маркеров такой связи, однако аннотатор встроил эти фрагменты в общую аргументативную структуру полного текста иным образом, без построения связи между этой парой фрагментов (например, ввиду их присоединения как параллельных посылок к некоторому третьему фрагменту). Пример подобного расхождения:

(1) *7zip* – популярный архиватор с открытым исходным кодом, который получил широкое распространение благодаря своей высокой степени сжатия данных и поддержке множества форматов архивов. (2) Он стал неотъемлемым инструментом для многих пользователей, которые сталкиваются с необходимостью архивации и извлечения данных. (3) **Однако**, как и любая другая программа, *7zip* не застрахован от уязвимостей, которые могут стать угрозой для безопасности пользователей.

Третье предложение абзаца (а также первая клауза этого предложения) начинается с дискурсивного маркера «однако», который при употреблении в начале фрагмента, как правило, указывает на противопоставление этого фрагмента предыдущему и наличие между ними аргументативной связи опровержения по схеме «логический конфликт». Но, поскольку второе предложение содержит посылку к первому (дополняет тезис о широком использовании и преимуществах архиватора через указание цели, для которой архиватор используется), аннотатор при разметке текста построил связь от третьего предложения к первому (пропуская второе как частный случай первого в контексте указания недостатка архиватора независимо от цели его использования).

2. Близким случаем к альтернативному построению связи выступает иной подход аннотатора к детализации текстового фрагмента, когда два фрагмента, между которыми классификаторы выявляют предполагаемую связь, были объединены разметчиком в одно целостное аргументативное утверждение (например, когда оба фрагмента дополняют друг друга в роли одной смысловой посылки к другому утверждению, а при пропуске любого из них другой не смог бы функционировать как самостоятельная посылка из-за смысловой неполноты). Такое объединение нескольких фрагментов (в т.ч. предложений) в одно целостное утверждение без детализации внутренних связей встречается, например, при приведении цитат. Так, следующий фрагмент текста содержит цитату из двух предложений, объединённых вместе для обоснования первого предложения, однако все три классификатора определили эту пару предложений внутри цитаты как содержащую аргументативную связь.

(1) *Также российский учёный по сути сформулировал гипотезу лингвистической относительности.* (2) *Вот что он писал:* (3) *«При посредстве слов мы думаем и о том, что без тех или других знаков не могло бы быть представлено в нашем мышлении, и точно так же при посредстве слов мы получаем возможность думать так, как не могли бы думать при отсутствии знаков для мышления по отношению именно к обобщению и отвлечению предметов мысли.* (4) *Знаки языка для мысли становятся в процессе речи знаками для выражения мысли или её части, именно – непосредственно знаками для выражения мысли или её части, в состав которой входят представления произносимых слов».*

### 3.2.2 Ошибки, связанные с отсутствием предварительной обработки текста

Другой тип ошибок обусловлен спецификой постановки задачи для проведения экспериментов: оценивается эффективность распознавания аргументативных связей без проведения отдельных этапов предварительной обработки текста. Пропускаемые этапы затрагивают не только разграничение аргументативных и неаргументативных предложений, но и отражение логической организации целостного текста (его членения на абзацы и логические разделы). Без учёта этой структуры фрагменты объединяются в пары сплошным потоком (так, в пару объединяются последнее предложение одного абзаца и начальное предложение следующего,

а также заголовок раздела текста, если он образован самостоятельным предложением, и первое предложение этого раздела).

(1) Что такое *exclude rules* в *7zip*

(2) *Exclude rules* в *7zip* представляют собой набор правил, которые позволяют пользователям исключать определённые файлы или каталоги при архивации или извлечении данных.

Данный пример содержит пару из заголовка раздела и его первого предложения, которые определены классификаторами как связанные, тогда как аннотатор изначально не выделил заголовок как отдельное аргументативное утверждение и не включил его в аргументативную структуру текста.

### 3.2.3 Ошибки неправильной сегментации

Третий случай некорректного распознавания аргументативных связей (в частности, пропуска классификаторами связей, установленных аннотатором) обусловлен остаточными ошибками от сегментации текстов (производимой автоматически).

Из анализа ошибок можно заключить, что полезно применять предобработку текста с целью фильтрации заведомо несвязанных пар, а также с целью извлечения дополнительной информации о фрагментах, в частности об их аргументативности, о маркерах дискурса (например, путём регулирования их веса в векторе представления фрагмента) и пр.

## Заключение

В данной работе представлены результаты апробации трёх разнотипных методов МО, использованных для распознавания аргументативных связей в текстах русского языка. Эксперименты проведены на материале текстов разных жанров из области научной коммуникации. Для классификации выбирались смежные фрагменты двух типов: предложения и клаузы, что позволило учесть степень подробности аргументативной разметки. Наилучшие результаты показали методы *SVM* (по точности) и *MNB* (по полноте), при этом для предложений и клауз оценки качества, в целом, близки. Построен диапазон возможных расхождений в оценках качества при применении разных методов обучения на сбалансированных/несбалансированных обучающих и тестовых коллекциях. Результаты показали значимость сбалансированности обучающей коллекции для параметра полноты. Анализ ошибок распознавания связей выявил необходимость предобработки текста и учёта более широкого контекста при выборе пар для классификации.

Полученные оценки качества можно рассматривать как ЭР, поскольку в данном исследовании не применялись дополнительные способы повышения качества, такие как предварительная лингвистическая обработка текста, выделение главного тезиса, использование индикаторов. Полученные результаты могут быть полезны для анализа эффективности вновь разрабатываемых методов, в том числе на основе НС подходов.

## Список источников

- [1] **Lawrence J., Reed C.** Argument Mining: A Survey. *Computational Linguistics*, 2019. Vol. 45 (4). P.765-818.
- [2] **Chen T.** BERT Argues: How Attention Informs Argument Mining. *Honors Theses*, vol. 1589. 2021.
- [3] **Feng V.-W., Hirst G.** Classifying arguments by scheme // In: Proc. of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 2011. Vol.1. P.987-996.
- [4] **Achmadeeva I., Kononenko I., Salomatina N., Sidorova E.** Indicator Patterns as Features for Argument Mining // In: Proc. of the Int. Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Novosibirsk, 2019. P.0886-0891. DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958295.

- [5] **Stab C., Gurevych I.** Identifying argumentative discourse structures in persuasive essays // In: Proc. of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Doha, 2014. P.46–56.
- [6] **Sidorova E., Akhmadeeva I., Kononenko I., Chagina P.** The role of Indicators in Argumentative Relation Prediction // In: Proc. of the Int. Conf. on Computational Linguistics and Intellectual Technologies “Dialogue 2023”. Issue 22. 2023. P.477-485. DOI:10.28995/2075-7182-2023-22-477-485.
- [7] **Lawrence J., Reed C.** Combining argument mining techniques // In: Proc. of the 2nd Workshop on Argumentation Mining. Denver: Association for Computational Linguistics, 2015. P.127-136.
- [8] **Lawrence J., Reed C.** Mining Argumentative Structure from Natural Language text using Automatically Generated Premise–Conclusion Topic Models // In: Proc. of the 4th Workshop on Argument Mining. Denmark: Association for Computational Linguistics, 2017. P.39-48.
- [9] **Nguyen H.V., Litman D.** Context-aware argumentative relation mining // In: Proc. of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Berlin. 2016. Vol. 1: Long Papers. P.1127-1137.
- [10] **Niculae V., Park J., Cardie C.** Argument mining with structured SVMs and RNNs // In: Proc. of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2017. Vol. 1: Long Papers. P.985-995.
- [11] **Zasyukin A.S., Pimenov I.S., Salomatina N.V.** The Combined Approach to Identifying Argumentation Structures in Short Scientific Papers // In: IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). 2023. P.1800-1805. DOI:10.1109/EDM58354.2023.10225223.
- [12] **Rahwan I., Reed C.** The argument interchange format // In: G. Simari, I. Rahwan (ed.): Argumentation in Artificial Intelligence. Boston: Springer, 2009. P.383-402.
- [13] **Walton D., Reed C., Macagno F.** Argumentation schemes. Cambridge University Press, 2008. 443 p.
- [14] **Сидорова Е.А., Ахмадеева И.Р., Загоруйко Ю.А., Серый А.С., Шестаков В.К.** Платформа для исследования аргументации в научно-популярном дискурсе // Онтология проектирования. 2020. Т.10, №4(38). С.489-502. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-489-502.
- [15] Scikit Learn Homepage. [https://scikit-learn.org/stable/supervised\\_learning.html](https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html).
- [16] Сайт Хабр. <https://habr.com/ru/articles/>
- [17] **Пименов И.С.** Анализ расхождений в аргументационной разметке научных статей на русском языке // Вестник НГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2023. Т.21, №2. С.89-104. DOI: 10.25205/1818-7935-2023-21-2-89-104.

## Сведения об авторах

**Саломатина Наталья Васильевна**, 1958 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет (НГУ) в 1980 г., к.ф.-м.н. (2009). Старший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова (Новосибирск). В списке научных трудов более 80 работ в области распознавания речи, анализа символьных последовательностей, компьютерной лингвистики. Author ID (РИНЦ): 5683; ORCID: 0000-0001-8412-9116; Author ID (Scopus): 57190173916; Researcher ID (WoS): G-3032-2019. [salomatina\\_nv@live.ru](mailto:salomatina_nv@live.ru). ✉



**Сидорова Елена Анатольевна**, 1977 г. рождения. Окончила НГУ в 2000 г., к.ф.-м.н. (2006). Старший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта Института систем информатики им. А.П. Ершова (Новосибирск), доцент кафедры программирования и кафедры систем информатики НГУ, член Российской и Европейской ассоциаций искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 160 работ в области компьютерной лингвистики, онтологического инжиниринга и разработки интеллектуальных систем. Author ID (РИНЦ): 146000; ORCID: 0000-0001-8731-3058; Author ID (Scopus): 41961707000; Researcher ID (WoS): K-2432-2018. [lsidorova@iis.nsk.su](mailto:lsidorova@iis.nsk.su).



**Пименов Иван Сергеевич**, 1997 г. рождения. Окончил магистратуру НГУ в 2020 г. Программист 2 категории в Институте систем информатики им. А.П. Ершова (Новосибирск), аспирант кафедры фундаментальной и прикладной лингвистики НГУ. В списке научных трудов 15 работ в области компьютерной лингвистики, в том числе автоматического анализа аргументации. Author ID (РИНЦ): 1164941, ORCID: 0000-0001-5946-9469. [pimenov.1330@yandex.ru](mailto:pimenov.1330@yandex.ru).

Поступила в редакцию 29.11.2023, после рецензирования 18.01.2024. Принята к публикации 2.02.2024.



## Applying machine learning methods to identify argumentative connections in scientific communication texts

© 2024, N.V. Salomatina ✉, E.A. Sidorova, I.S. Pimenov

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

### Abstract

The paper presents the results of experiments to assess the machine learning methods applicability for solving the problem of identifying argumentative connections in scientific communication texts. Argumentative connection is understood as a relationship that connects the premise and the conclusion of a typical reasoning or an argument used by the author to persuade the readers. To assess the quality, the characteristics of accuracy, completeness and F-measure were used obtained when solving the problem of recognizing argumentative connections between adjacent text fragments of two types: sentences and clauses. The basis of the experiment was a Russian-language corpus of texts from the field of scientific communication with arguments marked up by linguistic experts. For markup, the ArgNetBank Studio tool was used, which allows creating collections of texts with detailed argumentation markup. Data sets for machine learning were built on the basis of labeled texts, in which the ratio of pairs of text fragments (sentences or clauses) connected and non-connected by argumentative relationships was 1 to 3. To improve the quality of model training, the sets were balanced in two ways. In the first case, a balance was achieved due to the fact that an equal number of pairs of both types were selected from each text; in the second, pairs were duplicated. Using the obtained data sets, experiments were carried out on linking text fragments using different types of machine learning methods. The range of changes in quality assessments when recognizing related fragments depending on their share in the training and test collections was experimentally determined. It has been established that, within the framework of the existing imbalance in real collections, the values of quality assessments can vary within 40–50%. The novelty of the work lies in the study of the range of possible discrepancies in quality assessments when applying different machine learning methods on balanced and unbalanced training and test collections in Russian-language material.

**Keywords:** scientific communication, argumentation analysis, argumentative text markup, argumentative relationships, machine learning methods.

**For citation:** Salomatina NV, Sidorova EA, Pimenov IS. Applying machine learning methods to identify argumentative connections in scientific communication texts [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(1): 82-93. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-82-93.

**Financial Support:** The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-11-00261, <https://rscf.ru/project/23-11-00261/>.

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

### List of tables

Table 1 - Results of experiments with the same distribution in the training and test collections

Table 2 - Results of experiments with different distributions in the training and test collections

### References

- [1] Lawrence J, Reed C. Argument mining: A survey. *Int. J. of Computational Linguistics* 2019; 45(4): 765-818.
- [2] Chen T. BERT Argues: How Attention Informs Argument Mining. Honors Theses; 2021; 1589.
- [3] Feng V-W, Hirst G. Classifying arguments by scheme. In: *Human Language Technologies, proc. of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*: 2011; 1: 987-996.
- [4] Akhmadeeva IR, Kononenko IS, Salomatina NV, Sidorova EA. Indicator Patterns as Features for Argument Mining. In: *Engineering, Computer and Information Sciences, proc. of the Int. Multi-Conference SIBIRCON (Novosibirsk)*. 2019: 0886-0891. DOI: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958295.

- [5] **Stab C, Gurevych I.** Identifying Argumentative Discourse Structures in Persuasive Essay. Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP): Proc. of the Int. Conf. (Doha, Qatar); 2014: 46–56.
- [6] **Sidorova EA, Akhmadeeva IR, Kononenko IS, Chagina PM.** The role of Indicators in Argumentative Relation Prediction. In: Computational Linguistics and Intellectual Technologies, proc. of the Int. Conf. “Dialogue 2023”. 2023; 22: 477-485. DOI: 10.28995/2075-7182-2023-22-477-485.
- [7] **Lawrence J, Reed C.** Combining argument mining techniques. In: Argumentation Mining, proc. of the 2nd Workshop (Denver). Association for Computational Linguistics, 2015: 127-136.
- [8] **Lawrence J, Reed C.** Mining Argumentative Structure from Natural Language text using Automatically Generated Premise-Conclusion Topic Models. In: Argument Mining (Denmark), proc. of the 4th Workshop. Association for Computational Linguistics, 2017: 39-48.
- [9] **Nguyen HV, Litman D.** Context-aware argumentative relation mining. In: Proc. of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Berlin). 2016; 1: Long Papers: 1127-1137.
- [10] **Niculae V, Park J, Cardie C.** Argument mining with structured SVMs and RNNs. In: Proc. of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2017; 1: Long Papers: 985-995.
- [11] **Zasyplin AS, Pimenov IS, Salomatina NV.** The Combined Approach to Identifying Argumentation Structures in Short Scientific Papers. In: IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). 2023: 1800-1805.
- [12] **Rahwan I, Reed C.** The argument interchange format. In: G. Simari, I. Rahwan (ed.): Argumentation in Artificial Intelligence. Boston: Springer; 2009: 383-402.
- [13] **Walton D, Reed C, Macagno F.** Argumentation schemes. Cambridge University Press; 2008. 443 p.
- [14] **Sidorova EA, Akhmadeeva IR, Zagorulko YuA, Sery AS, Shestakov VK.** Research platform for the study of argumentation in popular science discourse [In Russian]. Ontology of designing. 2020; 10(4): 489-502.
- [15] Scikit Learn Homepage. [https://scikit-learn.org/stable/supervised\\_learning.html](https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html).
- [16] Habr Homepage. <https://habr.com/ru/articles>.
- [17] **Pimenov IS.** Analyzing Disagreements in Argumentation Annotation of Scientific Texts in Russian Language [In Russian]. In: NSU Vestnik. Series: Linguistics and Intercultural Communication. 2023; 21(2): 89-104.

## About the authors

**Natalia Vasilievna Salomatina** (b.1958) graduated from the Novosibirsk State University in 1980, PhD (2009). She is a Senior Researcher of the Laboratory of Artificial Intelligence at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems (Novosibirsk, Russia). She is the author of more than 80 publications in the field of Automatic Speech Recognition, Sequence Analysis and Computational Linguistics. Author ID (RSCI): 5683; ORCID: 0000-0001-8412-9116; Author ID (Scopus): 57190173916; Researcher ID (WoS): G-3032-2019. [salomatina\\_nv@live.ru](mailto:salomatina_nv@live.ru) ✉

**Elena Anatolievna Sidorova** (b. 1977) graduated from the Novosibirsk State University in 2000, PhD (2006). She is a Senior Researcher of the Laboratory of Artificial Intelligence at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems (Novosibirsk, Russia), and a Associate Professor at the Novosibirsk State University. She is a member of Russian and European Associations for Artificial Intelligence. Dr. Sidorova has more than 160 peer-reviewed publications in the field of Computational Linguistics, Intelligent System Development, Knowledge and Ontology Engineering. Author ID (RSCI): 146000; ORCID: 0000-0001-8731-3058; Author ID (Scopus): 41961707000; Researcher ID (WoS): K-2432-2018. [lsidorova@iis.nsk.su](mailto:lsidorova@iis.nsk.su).

**Ivan Sergeevich Pimenov** (b. 1997) graduated from the Novosibirsk State University master’s program in 2020. He is a 2nd category programmer at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS, and a postgraduate student at the Department of Fundamental and Applied Linguistics of the Novosibirsk State University. The list of his scientific works includes 15 works in the field of computational linguistics, including works on Argument Mining. ORCID: 0000-0001-5946-9469; Author ID (RSCI): 1164941. [pimenov.1330@yandex.ru](mailto:pimenov.1330@yandex.ru).

Received November 29, 2023. Revised January 18, 2024. Accepted February 2, 2024.



## Построение базы знаний для автономного управления беспилотными транспортными средствами

© 2024, А.А. Романов, И.А. Рубцов, К.В. Святков, А.А. Филиппов ✉

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

### Аннотация

Представлен подход к построению и использованию базы знаний для автономного управления беспилотными транспортными средствами. В качестве предметной области представлено сельское хозяйство. Отсутствие достаточного количества и уровня квалификации механизаторов приводит к простоем техники, снижению урожайности культур и эффективности использования химикатов. Использование беспилотных транспортных средств позволяет уменьшить влияние данных факторов и снизить вредное воздействие на людей, работающих в сельском хозяйстве. В статье основной упор сделан на учёт особенностей и ограничений предметной области при построении траекторий движения беспилотных транспортных средств и управлении средствами обработки. Предложен подход, состоящий из этапов проектирования схемы базы знаний, автоматизации процесса наполнения базы знаний и организации функции логического вывода. Для каждого этапа приведены разработанные модели и алгоритмы, позволяющие сформировать и использовать базу знаний при решении задачи автономного управления беспилотными транспортными средствами. Статья содержит примеры и иллюстрации, призванные повысить наглядность предложенного подхода.

**Ключевые слова:** беспилотные транспортные средства, автономное управление, навигация, сельское хозяйство, база знаний, онтология.

**Цитирование:** Романов А.А., Рубцов И.А., Святков К.В., Филиппов А.А. Построение базы знаний для автономного управления беспилотными транспортными средствами // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.94-106. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-94-106.

**Финансирование:** исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 23-11-00265).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Применение интеллектуальных систем (ИС) для автоматизации бизнес-процессов позволяет снизить интеллектуальную нагрузку на специалистов большого числа предметных областей (ПрО). Широкое распространение получили ИС, в основе которых лежат методы машинного обучения (МО) и нейросетевые модели. МО высоко ценится разработчиками ИС из-за широких возможностей адаптации к решению задач при наличии достаточной обучающей выборки. Однако пока не решён вопрос объяснимости результатов, полученных с помощью МО.

В ряде работ рассматриваются вопросы построения ИС на основе методов инженерии знаний. Например, в работах [1-5] разрабатываются базы знаний (БЗ) и средства поддержки их жизнеспособности. В отличие от МО БЗ позволяют формализовать знания об особенностях ПрО в форме, которая одинаково понятна как человеку, так и вычислительной машине. В БЗ знания эксперта представлены в явном виде.

В данной работе рассмотрен подход к построению и использованию БЗ для автономного управления беспилотными транспортными средствами (БПТС) в сельском хозяйстве (СХ).

## 1 Постановка задачи

Задача управления БПТС является актуальной [6-10]. Применение БПТС в СХ позволяет повысить производительность труда, снизить нагрузку и воздействие вредных веществ на персонал. Можно выделить два основных подхода к управлению БПТС, это использование:

- набора географических координат, по которым передвигается БПТС;
- систем машинного зрения.

Для применения БПТС в СХ требуется построение гибридной системы, объединяющей оба подхода, а также включающей подсистему управления средствами обработки СХ полей и культур. Поле является объектом с известными границами, и на нём не предполагается оживлённое движение других объектов. Необходимо построить траекторию движения БПТС с учётом особенностей ПрО. Существует вероятность, что на поле может оказаться посторонний объект, поэтому БПТС должно иметь возможность корректировки траектории. Необходимо также управлять средствами обработки для эффективного расходования удобрений и химикатов. Таким образом, требуется решение следующих подзадач:

- оснащение транспортного средства оборудованием для автономного управления;
- формирование БЗ для построения траектории движения БПТС и управления средствами обработки с учётом особенностей ПрО;
- разработка алгоритма построения траектории движения БПТС;
- разработка модели машинного зрения;
- сбор обучающей выборки для тренировки подсистемы машинного зрения для корректирования траектории движения БПТС;
- сборка системы управления БПТС и средствами обработки.

## 2 Модель БЗ задачи построения траектории движения БПТС

В работе [11] отмечено, что одной из проблем построения эффективного алгоритма управления БПТС является необходимость учёта особенностей ПрО. Можно выделить следующие особенности ПрО СХ:

- *параметры поля*: координаты границы поля, характеристики почвы, показатели урожайности СХ культур, история использования поля, наличие вредителей и др.;
- *особенности обрабатываемых СХ культур*: требования к почве, требования к процессам обработки, требования к удобрениям и химикатам, влияние вредителей и др.;
- *особенности процесса обработки*: траектория обработки поля, периодичность обработки, требования к средствам обработки, требования к БПТС и др.;
- *параметры и особенности БПТС*: габариты, угловая скорость, вес, мощность двигателя, поддерживаемые средства обработки, принцип установки средств обработки и др.;
- *параметры средств обработки*: способ обработки, объём резервуара для химикатов, требования к мощности двигателя БПТС, требования к способу крепления на БПТС и др.

Для формирования БЗ при решении задачи управления БПТС в работах [12-14] предлагается использовать онтологии, основанные на дескрипционной логике (ДЛ) [15]. Это позволяет использовать машины логического вывода для получения новых знаний и проверки логической целостности и непротиворечивости содержимого БЗ с учётом ограничений ПрО. Онтологии позволяют описывать знания в виде продукционных правил. Известны онтологии для ПрО СХ разных уровней [3, 16-19].

Теоретико-множественное представление модели БЗ имеет вид:  $O = \langle TBox, ABox, SWRL \rangle$ , где  $TBox$  – схема БЗ, которая определяет доступное для использования множество классов сущностей ПрО, их свойства, а также отношения между сущностями;  $ABox$  – содержимое БЗ;  $SWRL$  – множество продукционных правил на языке  $SWRL$  [20].



Модель БЗ задачи автономного управления БПТС является фрагментом *TBox* модели БЗ и представляет собой набор аксиом ДЛ, которые определяют модель знаний БЗ с учётом ограничений и особенностей ПрО решаемой задачи. Таблица 1 содержит операторы ДЛ, которые используются для формализации модели БЗ решаемой задачи.

Таблица 1 – Операторы ДЛ и их соответствие операторам языка *OWL*

ДЛ	OWL	Описание
$\top$	<i>owl:Thing</i>	Класс верхнего уровня
$\perp$	<i>owl:Nothing</i>	Пустой класс
$A \sqsubseteq B$	<i>A owl:SubClassOf B</i>	Включение классов (родитель-потомок)
$A \sqcap B \sqsubseteq \perp$	<i>[A, B] owl:DisjointClasses</i>	Непересекающиеся классы
$A \equiv B$	<i>[A, B] owl:equivalentClasses</i>	Эквивалентные классы
$A \sqcap B$	<i>A and B</i>	Пересечение (конъюнкция) классов
$\forall R. A$	<i>R only A</i>	Универсальное ограничение
$\exists R. A$	<i>R some A</i>	Экзистенциальное ограничение
$\leq nR. A$	<i>R exactly n A</i>	Ограничение кардинальности

*TBox* модели БЗ формируется администратором БЗ вместе с экспертом данной ПрО.

Для удобства классу *owl:Thing* добавлено функциональное свойство (ФС) *hasName* для определения текстового представления имени сущности, которая унаследована остальными классами БЗ:  $\top \sqsubseteq \exists hasName. String \sqcap \forall hasName. String \sqcap = 1hasName. String$ .

Основные классы сущностей модели БЗ для описания особенностей ПрО:

*Field*  $\sqsubseteq \top$  – поле, в пределах которого осуществляется автономное управление БПТС;

*Vehicle*  $\sqsubseteq \top$  – БПТС;

*Tool*  $\sqsubseteq \top$  – средства обработки поля, которые могут быть установлены на БПТС;

*Agricultural*  $\sqsubseteq \top$  – СХ культуры, которые могут располагаться на поле;

*Object*  $\sqsubseteq \top$  – объекты, которые могут мешать передвижению БПТС на поле;

*Coordinate*  $\sqsubseteq \top$  – географические координаты.

Все представленные классы являются потомками класса *owl:Thing* (наследование), а также определены в качестве непересекающихся:

$$Field \sqcap Vehicle \sqcap Tool \sqcap Agricultural \sqcap Object \sqcap Coordinate \sqsubseteq \perp.$$

ФС класса *Vehicle* имеют вид:

$$Vehicle \sqsubseteq \exists width. Double \sqcap \forall width. Double \sqcap = 1width. Double \sqcap \\ \sqcap \exists length. Double \sqcap \forall length. Double \sqcap = 1lengthDouble \sqcap \\ \sqcap \exists radius. Double \sqcap \forall radius. Double \sqcap = 1radius. Double \sqcap \\ \sqcap \exists power. Double \sqcap \forall power. Double \sqcap = 1power. Double,$$

где *width* и *length* – ФС для определения габаритов БПТС: ширина и длина соответственно;

*radius* – ФС для указания значения радиуса разворота БПТС;

*power* – ФС, значение которого соответствует мощности двигателя БПТС.

ФС класса *Tool* имеют вид:

$$Tool \sqsubseteq \exists powerRequired. Double \sqcap \forall powerRequired. Double \sqcap \\ \sqcap = 1powerRequired. Double \sqcap \\ \sqcap \sqsubseteq \exists toolType. ToolType \sqcap \forall toolType. ToolType \sqcap = 1toolType. ToolType \\ ToolType \equiv \{sprayer, spreader\},$$

где *powerRequired* – ФС для определения требований средства обработки к мощности двигателя БПТС; *type* – ФС, указывающее на тип средства обработки. Возможные значения данного ФС заданы в перечислении *ToolType*.

ФС специфичные для определённых классов средств обработки *Tool* на примере разбрасывателей удобрений (*Spreader*) и полевых опрыскивателей (*Sprayer*) имеют вид:

$$Spreader \sqsubseteq Tool \sqcap \exists diskDiameter. Integer \sqcap \forall diskDiameter. Integer \sqcap \\ \sqcap = 1diskDiameter. Integer;$$

$$Sprayer \sqsubseteq Tool \sqcap \exists tankVolume. Integer \sqcap \forall tankVolume. Integer \sqcap \\ \sqcap = 1tankVolume. Integer,$$

$$Spreader \sqcap Sprayer \sqsubseteq \perp,$$

где *diskDiameter* – ФС – значение диаметра разбрасывающих удобрения дисков;  
*tankVolume* – ФС, указывающее на объём резервуара для химикатов;  
классы *Spreader* и *Sprayer* являются наследниками класса *Tool* и наследуют его свойства *powerRequired* и *type*. Эти классы объявлены непересекающимися.

Свойства класса *Agricultural* имеют вид:

$$Agricultural \sqsubseteq \exists toolTypeRequired. ToolType \sqcap \forall toolTypeRequired. ToolType \sqcap \\ \sqcap \exists trackRequired. TrackType \sqcap \forall trackRequired. TrackType \sqcap \\ \sqcap = 1trackRequired. TrackType \\ TrackType \sqsubseteq \{circular, zigzag\},$$

где *toolTypeRequired* – свойство, определяющее множество средств обработки, которые могут быть применены к данной СХ культуре;  
*trackRequired* – ФС, значение которого указывает на тип траектории, по которой необходимо перемещаться БПТС, при обработке данной СХ культуры;  
*TrackType* – перечисление, содержащее типы траекторий БПТС.

Класс *Coordinate* имеет следующие ФС:

$$Coordinate \sqsubseteq \exists longitude. Double \sqcap \forall longitude. Double \sqcap = 1longitude. Double \sqcap \\ \sqcap \exists latitude. Double \sqcap \forall latitude. Double \sqcap = 1latitude. Double,$$

где *longitude* и *latitude* – ФС, определяющие множество координат в виде долготы и широты соответственно.

Свойства класса *Object*:

$$Object \sqsubseteq \sqcap \exists objectType. ObjectType \sqcap \forall objectType. ObjectType \sqcap \\ \sqcap = 1objectType. ObjectType \sqcap \\ \sqcap \exists hasCoordinate. Coordinate \sqcap \forall hasCoordinate \\ ObjectType \sqsubseteq \{ravine, saline\},$$

где *objectType* – ФС, задающее тип объекта значением из перечисления *ObjectType*, например овраги (*ravine*) и солончаки (*saline*);  
*hasCoordinate* – свойство для определения множества координат объекта на поле.

Свойства класса *Field*:

$$Field \sqsubseteq \exists hasBorderCoordinate. Coordinate \sqcap \forall hasBorderCoordinate. Coordinate \sqcap \\ \sqcap \exists hasAgricultural. Agricultural \sqcap \forall hasAgricultural. Agricultural \sqcap \\ \sqcap = 1hasAgricultural. Agricultural \sqcap \exists hasObject. Object,$$

где *hasBorderCoordinate* – свойство для определения множества координат границы поля;  
*hasAgricultural* – ФС для определения СХ культуры, которая находится на поле;  
*hasObject* – свойство, указывающее объекты, которые могут быть расположены на поле.

Модель БЗ может уточняться и дополняться в процессе логического вывода с помощью набора продукционных правил.

### 3 Разработка БЗ для задачи построения траектории движения БПТС

Определены следующие требования к средствам построения и формирования БЗ для задачи автономного управления БПТС. В частности, необходимо наличие средств для:

- формирования схемы (*TBox*) БЗ для описания особенностей Про;
- создания продукционных правил, описывающих правила и закономерности Про;

- автоматизации формирования содержимого (*ABox*) БЗ на основе схемы (*TBox*);
- проверки непротиворечивости и целостности знаний, а также получения новых знаний и их интерпретации на основе механизма логического вывода.

### 3.1 Формирование схемы БЗ и продукционных правил

Для формирования схемы БЗ и продукционных правил на языке *SWRL* использован редактор онтологий *Protégé* [21]. Данный редактор основан на библиотеке *OWL API*, позволяет создавать и редактировать продукции на языке *SWRL* с помощью библиотеки *SWRL API* и может использовать машину логического вывода *Pellet*.

В результате схема БЗ и множество продукций на языке *SWRL* представляются в виде онтологии на языке *OWL*.

### 3.2 Средства для автоматизации формирования содержимого БЗ

Для автоматизации процесса формирования содержимого (*ABox*) БЗ на основе схемы (*TBox*) разработано приложение, основанное на динамической генерации экранных форм для ввода данных на основе структуры метаданных.

В качестве хранилища разработанного приложения используется графовая система управления базами данных (СУБД) *Neo4j* [22]. Данная СУБД не использует реляционную модель данных и не накладывает ограничения на модель данных, что позволяет загружать в *Neo4j* данные любой структуры в виде графа без предварительной подготовки. Для выполнения запросов к содержимому *Neo4j* необходимо знать структуру метаданных. Основным преимуществом использования СУБД *Neo4j* является поддержка транзакций, что делает возможной коллективную работу по заполнению БЗ несколькими экспертами. *Neo4j* имеет специальный язык запросов *Cypher*, который ориентирован для работы с графом и позволяет создавать эффективные запросы к хранилищу.

В качестве источника для получения метаданных используется схема БЗ (*TBox*). Метаданные позволяют:

- генерировать экранные формы для ввода данных с необходимым набором элементов управления;
- накладывать ограничения на тип и наличие данных для отдельных элементов управления;
- формировать запросы на добавление и извлечение данных из *Neo4j*.

Теоретико-множественное представление метаданных имеет вид:  $M = \langle E, A, R, Enum \rangle$ , где  $E$  – множество сущностей ПрО (классы БЗ);  $A$  – множество свойств сущностей;  $R$  – множество отношений, которые связывают сущность и её свойства;  $Enum$  – множество перечислений, которые используются в качестве допустимого множества значений отдельных свойств.

Множество сущностей имеет вид:  $E = \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n\}$ , где  $E_i = \langle type, name \rangle$  –  $i$ -я сущность метаданных. Каждая сущность имеет свойство *type* для определения типа сущности и свойство *name* для определения имени (представления) сущности в пользовательском интерфейсе. Представление задаётся через аннотацию (элемент языка OWL) схемы БЗ. Например, для класса *Field* –  $\langle Field, \text{Поле} \rangle$ .

Множество атрибутов сущностей можно записать как:  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_o\}$ , где  $A_j = \langle type, name, datatype, required \rangle$  –  $j$ -й атрибут метаданных. Атрибут метаданных имеет следующие свойства: *type* – тип атрибута, *name* – представление атрибута, *datatype* – тип данных атрибута, *required* – признак обязательности заполнения.

Тип данных *datatype* атрибута может принимать следующие значения: простые типы данных (строка, число, дата, булево); ссылка на другую сущность; коллекция (список).

Например, для свойства *hasBorderCoordinate* создан атрибут со следующими свойствами:  $\langle hasBorderCoordinate, \text{Координаты}, Coordinate[], true \rangle$ .

Множество перечислений можно представить в виде следующего выражения:

$$Enum = \{Enum_1, Enum_2, \dots, Enum_k, \dots, Enum_p\},$$

где  $Enum_k = \langle type, name, values \rangle$  – *k*-е перечисление, в котором: *type* – свойство для определения типа перечисления, *name* – представление сущности, *values* – множество значений перечисления. Например, перечисление *TrackType* представлено как  $\langle TrackType, \text{Тип траектории}, \{circular, zigzag\} \rangle$ .

Множество отношений *R* имеет вид:  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_l, \dots, R_q\}$ , где  $R_l = \langle E_i, A_j \rangle$  – *l*-е отношение между сущностью  $E_i$  и её атрибутом  $A_j$ , например,  $\langle Field, hasBorderCoordinate \rangle$ .

Для получения метаданных на основе схемы БЗ используется функция вида:

$$F^M: TBox \rightarrow M.$$

Функция  $F^M$  реализуется следующим алгоритмом:

- 1) для каждого перечисления схемы БЗ выполнить преобразование:

$$Enum_i^{TBox} \rightarrow Enum_i^M, \text{ например,}$$

$$TrackType \equiv \{circular, zigzag\} \rightarrow \langle TrackType, \text{Тип траектории}, \{circular, zigzag\} \rangle.$$

- 2) для каждого класса схемы БЗ выполнить преобразование:

$$Class_i \rightarrow E_i, \text{ например, } Field \rightarrow \langle Field, \text{Поле} \rangle.$$

- 3) для каждого свойства *i*-го класса схемы БЗ выполнить преобразование:

$$Property_{ij} \rightarrow \{A_j, R_j\}, \text{ например,}$$

$$hasBorderCoordinate \rightarrow \{ \langle hasBorderCoordinate, \text{Координаты}, Coordinate[], true \rangle, \langle Field, hasBorderCoordinate \rangle \}.$$

Тип данных атрибута определяется на основе ограничений и типов данных соответствующего свойства схемы БЗ: если у свойства есть экзистенциальное ограничение ( $\exists$ ) и универсальное ограничение ( $\forall$ ) и свойство не является функциональным, то типом данных атрибута является коллекция, иначе не коллекция.

Итоговый тип данных определяется на основе множества допустимых типов значений из схемы БЗ. Признак обязательности заполнения значения атрибута определяется на основе ограничений схемы БЗ: если у свойства есть универсальное ограничение ( $\forall$ ), то атрибут должен быть обязательно заполнен.

Для автоматизации процесса заполнения БЗ клиентская часть приложения получает метаданные для генерации интерфейса и данные для отображения в нём. Генерация интерфейса осуществляется следующей функцией:

$$F^{GUI}: M \times Neo4j \rightarrow GUI.$$

Например, необходимо ввести данные о некотором экземпляре класса *Field*. В клиентской части приложения используются полученные метаданные класса *Field* для генерации экранной формы приложения, представленной на рисунке 1. Для каждого атрибута  $A_j$  на основе значений его

Рисунок 1 – Пример экранной формы для ввода информации о поле

свойств создаётся определённое поле ввода. Например, для атрибута  $\langle hasName, \text{Название}, String, true \rangle$  создано следующее поле на языке *HTML*:

```
<div class="mb-3">
  <label for="hasName" class="form-label">Название</label>
  <input type="text" class="form-control" id="hasName" required value="данные">
</div>
```

Как видно из примера разметки, для задания ограничения типа данных используется атрибут *type*, а для указания обязательности заполнения значения атрибут *required* тега *input*. Данные задаются через атрибут *value* тега *input*.

Для атрибута  $\langle hasBorderCoordinate, \text{Координаты}, Coordinate[], true \rangle$  *HTML*-разметка имеет вид:

```
<div class="mb-3">
  <label for="hasBorderCoordinate" class="form-label">Координаты</label>
  <br />
  <button class="btn btn-primary" type="button">Добавить</button>
  <div id="hasBorderCoordinate" class="list-group mt-2"
    role="listbox" aria-required="true">
    <div class="list-group-item list-group-item-action d-flex flex-row">
      <span class="flex-grow-1 align-self-center">данные</span>
      <a href="#"><i class="bi bi-trash3"></i></a>
    </div>
    ...
    <div class="list-group-item list-group-item-action d-flex flex-row">
      <span class="flex-grow-1 align-self-center">данные</span>
      <a href="#"><i class="bi bi-trash3"></i></a>
    </div>
  </div>
</div>
```

Так как метаданные содержат все требуемые сведения, при необходимости можно легко заменить шаблоны для генерации элементов управления и представлять коллекции значений в виде таблицы.

Для работы с хранилищем данных *Neo4j* используются следующие функции:

$$F^{StorageInsert}: M \rightarrow InsertQuery, F^{StorageSelect}: M \rightarrow SelectQuery.$$

Функция  $F^{StorageInsert}$  позволяет автоматически генерировать запрос на языке *Cypher* для создания записи данных в хранилище *Neo4j*.

Алгоритм работы функции  $F^{StorageInsert}$  состоит из следующих шагов.

- 1) создание узла для добавляемого экземпляра сущности. Например, для объекта класса *Field*: `MERGE (e1:Field{name: 'Поле'})`.
- 2) поиск атрибутов с типом данных, ссылающихся на экземпляр другой сущности. Например, для класса *Field* это атрибуты *hasBorderCoordinate* и *hasObject*. Далее создаются команды для записи в хранилище связанных сущностей. Для атрибута *hasBorderCoordinate*:
 

```
MERGE (e2:Coordinate{name: 'Координата'})
MERGE (e2a1:Value{value: '54.19'})
MERGE (e2a2:Value{value: '48.22'})
MERGE (e2)-[:latitude]->(e2a1)
MERGE (e2)-[:longitude]->(e2a2).
```
- 3) создание узлов для атрибутов, которые не ссылаются на другие сущности:
 

```
MERGE (e1a1:Value{value: 'Поле1'}).
```
- 4) организация связи между экземпляром сущности и его атрибутами:
 

```
MERGE (e1)-[:hasName]->(e1a1)
MERGE (e1)-[:hasBorderCoordinate]->(e2).
```

В результате выполнения представленного запроса сформирован фрагмент графа, показанный на рисунке 2.

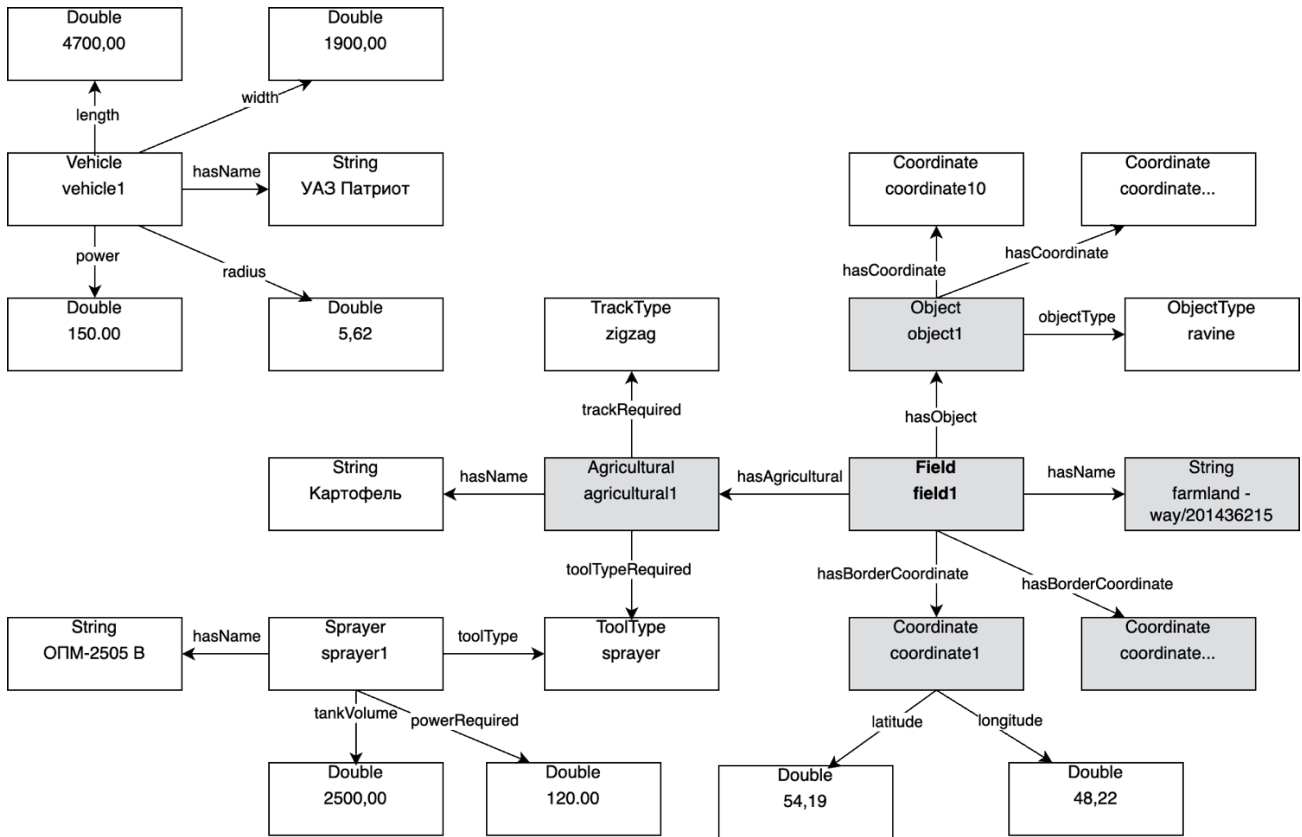


Рисунок 2 – Пример содержимого БЗ

Как видно из рисунка 2, данные о поле записываются в БЗ в качестве фрагмента. Жирным начертанием выделена сущность **field1** класса **Field**, а фоном отмечены значения свойств сущности **field1**. На рисунке 2 приведены также примеры представления сущностей других классов: БПТС УАЗ Патриот, опрыскиватель полевой штанговый полуприцепной ОПМ-2505 В, СХ культура картофель, овраг, расположенный на поле. Для всех обозначенных сущностей заданы значения их свойств.

Функция  $F^{StorageSelect}$  используется для получения данных из хранилища *Neo4j*. Например, для получения списка всех сущностей класса **Field** используется запрос:

`MATCH p=(f:Field)-[*..]->(v) RETURN p.`

Для получения конкретного поля будет сформирован следующий запрос:

`MATCH p=(f:Field)-[*..]->(v) WHERE ID(f)=201 RETURN p.`

Таким образом, автоматизация формирования содержимого (*ABox*) БЗ снижает нагрузку на эксперта по сравнению с наполнением БЗ средствами редактора *Protégé*.

### 3.3 Механизм логического вывода

Графовая СУБД *Neo4j* поддерживает механизм логического вывода, но возможности его ограничены. Следовательно, необходимо выполнять логический вывод средствами, разработанными специально для онтологий. Функция логического вывода реализуется с помощью библиотек *OWL API*, *SWRL API* и машины логического вывода *Pellet*.

Выполнение функций логического вывода позволяет гарантировать корректность содержимого БЗ, логическую целостность и непротиворечивость ограничениям Про. В результате

логического вывода на основе множества продукционных правил на языке *SWRL* в БЗ формируются новые знания. Продукционные правила позволяют изменять логику работы с БЗ без изменения алгоритма автономного управления БПТС, что повышает гибкость алгоритма и его живучесть в процессе эксплуатации системы.

Для реализации логического вывода используются следующие функции:

$$F^{Data}: M \times Neo4j \times TBox \rightarrow OWL,$$

$$F^{Inference}: OWL \times Pellet \rightarrow ABox^*.$$

Функция  $F^{Data}$  на основе метаданных  $M$  извлекает из *Neo4j* необходимые данные и записывает их в онтологию в формате *OWL*. При этом заполняется онтология, положенная в основу схемы БЗ *TBox*, полученная на этапе формирования схемы БЗ.

Алгоритм работы функции  $F^{Data}$  состоит из следующих шагов.

- 1) получить множество классов *TBox* БЗ на основе метаданных  $M$ :  $E_i \rightarrow Class_i$ .
- 2) для каждой сущности  $E_i$  из состава метаданных  $M$  выполнить запрос к *Neo4j*:  
MERGE (o:  $E_i$ )-[:hasName]->(name).
- 3) создать аксиомы *ABox* БЗ для определения сущностей для  $i$ -го класса  $Class_i$  БЗ:  
 $name: Class_i$ .
- 4) получить множество свойств  $i$ -го класса  $Class_i$  из модели метаданных  $M$ :  
 $\{A_j, R_j\} \rightarrow Property_{ij}$ .
- 5) для каждого  $j$ -го атрибута  $A_j$  сущности  $E_i$  из состава метаданных  $M$  выполнить запрос к *Neo4j*: MERGE (o:  $E_i$ )-[: $A_j$ ]->(value).
- 6) создать аксиомы *ABox* БЗ для определения  $j$ -го свойства  $Property_{ij}$  сущностей для  $i$ -го класса  $Class_i$  БЗ:  $(name, value): Property_{ij}$ .

Далее запускается машина логического вывода *Pellet*, которая выполняет логический вывод по содержанию полученной *OWL*-онтологии. Выполнение множества *SWRL*-правил позволяет получать новые знания и использовать их для автономного управления БПТС. В случае возникновения ошибок пользователь должен внести исправления.

Например, *SWRL*-правило, которое позволяет добавить для класса *Field* дополнительные свойства *fieldTool* и *fieldTrack*, значения которых указывают на необходимое средство для обработки и тип траектории движения БПТС в зависимости от СХ культуры, имеет вид:

$$Field(? f)^{hasAgricultural(? f, ? a)^{toolTypeRequired(? a, ? tt)^{toolType(? t, ? tt)^{trackRequired(? a, ? tr) \rightarrow fieldTool(? f, ? t)^{fieldTrack(? f, ? tr).$$

Новые свойства класса *Field*, сформированные в процессе логического вывода, также могут быть использованы в качестве атомов других *SWRL*-правил, например для определения подходящих БПТС на основе требований средств обработки к мощности двигателя:

$$Field(? f)^{fieldTool(? f, ? t)^{powerRequired(? t, ? pr)^{Vehicle(? v)^{power(? v, ? p)^{swrlb: greaterThanOrEqual(? p, ? pr) \rightarrow fieldVehicle(? f, ? v).$$

## Заключение

В статье рассмотрена задача формирования БЗ для автономного управления БПТС с учётом особенностей ПрО СХ.

Предложены информационная модель БЗ, позволяющая учитывать различные особенности и ограничения при решении задачи автономного управления БПТС, и автоматизированный способ формирования схемы БЗ. Для автоматизации процесса формирования содержимого БЗ предложена информационная модель метаданных, которая используется для генерации динамических экранных форм, позволяющих снизить нагрузку на эксперта и реализовать функцию коллективного заполнения БЗ.

Предложен подход к организации логического вывода для проверки логической целостности и непротиворечивости содержимого БЗ перед выполнением задачи автономного управления БПТС. Механизм логического вывода используется также для получения новых знаний на основе множества продукционных правил на языке *SWRL*, что делает алгоритм построения траектории более гибким.

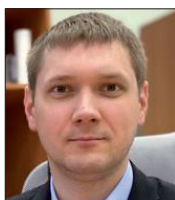
### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Грибова В.В., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А.** Создание жизнеспособных интеллектуальных систем с управляемыми декларативными компонентами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №. 3 (11). С.6-17. DOI: 10.25729/2413-0133-2018-3-01.
- [2] **Кузьмин В.Р., Загорюлько Ю.А.** Применение агентно-сервисного подхода при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в энергетике // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2020. Т.18. №3. С.5-18. DOI: 10.25205/1818-7900-2020-18-3-5-18.
- [3] **Боргест Н.М., Будаев Д.В., Травин В.В.** Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения // Онтология проектирования. 2017. Т.7. №4(26). С.423-442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [4] **Беглер А.М., Кудряцев Д.В., Гаврилова Т.А.** Применение онтологий для интеграции данных эмпирических исследований // Восемнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2020. Труды конференции. Под ред. В.В. Борисова, О.П. Кузнецова. М.: Издательство: МФТИ. 2020. С.3-11.
- [5] **Борисов В.В., Трусов А.С., Кульчицкий П.В., Извозчикова В.В.** Автоматизация технической диагностики нефтегазового оборудования // Нефтегазовое производство - основа научно-технического прогресса и экономической стабильности. 2020. С.362-367.
- [6] **Xie B., Jin Y., Faheem M., Gao W., Liu J., Jiang H., Cai L., Li Y.** Research progress of autonomous navigation technology for multi-agricultural scenes // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol.211. 107963. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107963.
- [7] **Hu J., Gao L., Bai X., Li T., Liu X.** Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2015. Vol.31(10). P.1–10.
- [8] **Liu L., Lu S., Zhong R., Wu B., Yao Y., Zhang Q., Shi W.** Computing systems for autonomous driving: State of the art and challenges // IEEE Internet of Things Journal. 2020. Vol.8(8). P.6469–6486. DOI: 10.1109/IJOT.2020.3043716.
- [9] **Badue C., Guidolini R., Carneiro R.V., Azevedo P., Cardoso V.B., Forechi A., Jesus L., Berriel R., Paixão T.M., Mutz F., de Paula Veronese L., Oliveira-Santos T., De Souza A.F.** Self-driving cars: A survey // Expert Systems with Applications. 2021. Vol.165. 113816. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113816.
- [10] **Bhalla A., Nikhila M.S., Singh P.** Simulation of self-driving car using deep learning // 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS). IEEE, 2020. P.519–525. DOI: 10.1109/ICISS49785.2020.9315968.
- [11] **Teeti I., Khan S., Shahbaz A., Bradley A., Cuzzolin F.** Vision-based Intention and Trajectory Prediction in Autonomous Vehicles: A Survey // Proceedings of the Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-22, Lud De Raedt, Ed. 2022. Vol.7. P.5630–5637.
- [12] **Chen W., Kloul L.** An advanced driver assistance test cases generation methodology based on highway traffic situation description ontologies // International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering, and Knowledge Management. Springer, Cham, 2018. P.93–113. DOI: 10.1007/978-3-030-49559-6\_5.
- [13] **Ryu M., Cha S.H.** Context-awareness based driving assistance system for autonomous vehicles // Int. J. Control Autom. 2018. Vol.11(1). P.153–162. DOI: 10.14257/ijca.2018.11.1.14.
- [14] **Syzdykbayev M., Hajari H., Karimi H.A.** An ontology for collaborative navigation among autonomous cars, drivers, and pedestrians in smart cities // 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). IEEE, 2019. P.1–6. DOI: 10.23919/SpliTech.2019.8783045.
- [15] **The description logic handbook: Theory, implementation and applications / F. Baader (ed.).** UK, Cambridge : Cambridge university press, 2003. P.1–23.
- [16] **Bhuyan B.P., Tomar R., Cherif A.R.** A Systematic Review of Knowledge Representation Techniques in Smart Agriculture (Urban) // Sustainability. 2022. Vol.14(22). 15249. DOI: 10.3390/su142215249.

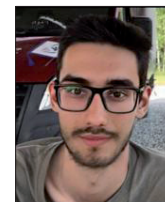


- [17] **Saraswathi D., Manibharathy P., Gokulnath R., Sureshkumar E., Karthikeyan K.** Automation of hydroponics green house farming using IoT // 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN). IEEE, 2018. P.1–4. DOI: 10.1109/ICSCAN.2018.8541251.
- [18] **Urkude G., Pandey M.** AgriOn: a comprehensive ontology for Green IoT based agriculture // Journal Green Eng. 2020. Vol.10(9). P.7078–7101.
- [19] **Jäger M., Nadschläger S., Phan T.N., Küng J.** Data, information & knowledge sources in the agricultural domain // 2015 26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA). IEEE, 2015. P.115–119. DOI: 10.1109/DEXA.2015.40.
- [20] **O'Connor M.J., Shankar R.D., Nyulas C., Tu S.W., Das A.K.** Developing a Web-Based Application using OWL and SWRL // AAAI spring symposium: AI meets business rules and process management. 2008. P.93–98.
- [21] Protégé: A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems: <https://protege.stanford.edu>.
- [22] Neo4j Graph Database & Analytics: <https://neo4j.com>.
- 

### Сведения об авторах



**Романов Антон Алексеевич**, 1986 г. рождения. Окончил Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ) в 2009 г., к.т.н. (2013). Заведующий кафедрой «Информационные системы» УлГТУ. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 100 работ в области анализа данных и процессов. Author ID (РИНЦ): 684949; Author ID (Scopus): 55903279200. [romanov73@gmail.com](mailto:romanov73@gmail.com).



**Рубцов Иван Алексеевич**, 1994 г. рождения. Окончил УлГТУ в 2014 г. Магистр конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств (2016г). Заведующий лабораторией «Инновационные технологии в машиностроении» УлГТУ. [ria0294@mail.ru](mailto:ria0294@mail.ru).



**Святлов Кирилл Валерьевич**, 1985 г. рождения. Окончил УлГТУ в 2008 г., к.т.н. (2012). Декан факультета информационных систем и технологий УлГТУ, заведующий кафедрой «Вычислительная техника». В списке научных трудов более 60 работ в области искусственного интеллекта, робототехники и машинного обучения. Author ID (РИНЦ): 609222; Author ID (Scopus): 57209745122. [k.svyatov@gmail.com](mailto:k.svyatov@gmail.com).



**Филиппов Алексей Александрович**, 1987 г. рождения. Окончил УлГТУ в 2009 г., к.т.н. (2013). Доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 120 работ в области инженерии знаний и анализа данных. Author ID (РИНЦ): 708454; Author ID (Scopus): 57191472723. [al.al.filippov@gmail.com](mailto:al.al.filippov@gmail.com). ✉

---

Поступила в редакцию 24.11.2023, после рецензирования 16.01.2024. Принята к публикации 01.02.2024.

---



## Building a knowledge base for autonomous control of unmanned vehicles

© 2024, A.A. Romanov, I.A. Rubtsov, K.V. Svyatov, A.A. Filippov ✉

*Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia*

### Abstract

This article presents an approach to building and using a knowledge base for autonomous control of unmanned vehicles (UV). Agriculture is presented as a subject area which features and limitations must be considered. The lack of a sufficient number and level of qualifications of machine operator leads to equipment downtime, a decrease in crop yields and the efficiency of using chemical fertilizers. The use of UV makes it possible to reduce the influence of these factors and the harmful effects on people working in agriculture. The article focuses on taking into account the features and limitations of the subject area when constructing the trajectory of unmanned vehicles and controlling processing facilities. An approach is proposed that consists of separate stages of designing a knowledge base schema, automating the process of filling the knowledge base and organizing the logical inference function. For each stage, developed models and algorithms are presented that help to form and use a knowledge base when solving the problem of autonomous control of unmanned vehicles. The article contains examples and illustrations designed to increase the clarity of the proposed approach.

**Keywords:** *unmanned vehicles, autonomous control, navigation, agriculture, knowledge base, ontology.*

**For citation:** Romanov AA, Rubtsov IA, Svyatov KV, Filippov AA. Building a knowledge base for autonomous control of unmanned vehicles [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(1): 94-106. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-94-106.

**Financial Support:** This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation 23-11-00265.

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

### List of figures and tables

Figure 1 - Example of a form for entering information about an agricultural field

Figure 2 - Example of a knowledge base contents

Table 1 - DL (Discretionary logic) operators and their correspondence to OWL language operators

### References

- [1] **Gribova VV, Moskalenko FM, Timchenko VA, Shalfeeva EA.** Building Viable Intelligent Systems with Managed Declarative Components [In Russian]. *Information and mathematical technologies in science and management*. 2018. 3(11). 6-17. DOI: 10.25729/2413-0133-2018-3-01.
- [2] **Kuzmin VR, Zagorulko YA.** Application of an agent-service approach in the development of intelligent decision support systems in the energy sector [In Russian]. *Bulletin of Novosibirsk State University*. Series: Information technology. 2020. 18(3). 5-18. DOI: 10.25205/1818-7900-2020-18-3-5-18.
- [3] **Borgest NM, Budaev DV, Travin VV.** Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017. 4(26). 423-442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.
- [4] **Begler AM, Kudryavcev DV, Gavrilova TA.** Using ontologies to integrate empirical research data [In Russian]. *Russian Conference on Artificial Intelligence (RCAI-2020)*. 2020. 3-11.
- [5] **Borisov VV, Trusov AS, Kulchitskiy PV, Izvozchikova VV.** Automation of technical diagnostics of oil and gas equipment [In Russian]. *Oil and gas production is the basis of scientific and technological progress and economic stability*. 2020. 362-367.
- [6] **Xie B, Jin Y, Faheem M, Gao W, Liu J, Jiang H, Cai L, Li Y.** Research progress of autonomous navigation technology for multi-agricultural scenes. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023; 211: 107963. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107963.
- [7] **Hu J, Gao L, Bai X, Li T, Liu X.** Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015; 31(10): 1-10.
- [8] **Liu L, Lu S, Zhong R, Wu B, Yao Y, Zhang Q, Shi W.** Computing systems for autonomous driving: State of the art and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*. 2020; 8(8): 6469-6486. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3043716.

- [9] **Badue C, Guidolini R, Carneiro RV, Azevedo P, Cardoso VB, Forechi A, Jesus L, Berriel R, Paixão TM, Mutz F, de Paula Veronese L, Oliveira-Santos T, De Souza AF.** Self-driving cars: A survey. *Expert Systems with Applications*. 2021; 165: 113816. DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113816.
- [10] **Bhalla A, Nikhila MS, Singh P.** Simulation of self-driving car using deep learning. *2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*. IEEE, 2020. P.519–525. DOI: 10.1109/ICISS49785.2020.9315968.
- [11] **Teeti I, Khan S, Shahbaz A, Bradley A, Cuzzolin F.** Vision-based Intention and Trajectory Prediction in Autonomous Vehicles: A Survey. *Proceedings of the Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-22*, Lud De Raedt, Ed. 2022; 7: 5630–5637.
- [12] **Chen W, Kloul L.** An advanced driver assistance test cases generation methodology based on highway traffic situation description ontologies. *International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering, and Knowledge Management*. Springer, Cham, 2018. P.93–113. DOI: 10.1007/978-3-030-49559-6\_5.
- [13] **Ryu M, Cha SH.** Context-awareness based driving assistance system for autonomous vehicles. *Int. J. Control Autom.* 2018; 11(1): 153–162. DOI: 10.14257/ijca.2018.11.1.14.
- [14] **Syzdykbayev M, Hajari H, Karimi HA.** An ontology for collaborative navigation among autonomous cars, drivers, and pedestrians in smart cities. *4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*. IEEE, 2019. P.1–6. DOI: 10.23919/SpliTech.2019.8783045.
- [15] The description logic handbook: Theory, implementation and applications. F. Baader (ed.). UK, Cambridge: Cambridge university press, 2003. P.1–23.
- [16] **Bhuyan BP, Tomar R, Cherif AR.** A Systematic Review of Knowledge Representation Techniques in Smart Agriculture (Urban). *Sustainability*. 2022; 14(22): 15249. DOI: 10.3390/su142215249.
- [17] **Saraswathi D, Manibharathy P, Gokulnath R, Sureshkumar E, Karthikeyan K.** Automation of hydroponics green house farming using IoT. *IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*. IEEE, 2018. P.1–4. DOI: 10.1109/ICSCAN.2018.8541251.
- [18] **Urkude G, Pandey M.** AgriOn: a comprehensive ontology for Green IoT based agriculture. *Journal Green Eng.* 2020; 10(9): 7078–7101.
- [19] **Jäger M, Nadschläger S, Phan TN, Küng J.** Data, information & knowledge sources in the agricultural domain. *26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA)*. IEEE, 2015. P.115–119. DOI: 10.1109/DEXA.2015.40.
- [20] **O'Connor MJ, Shankar RD, Nyulas C, Tu SW, Das AK.** Developing a Web-Based Application using OWL and SWRL. *AAAI spring symposium: AI meets business rules and process management*. 2008. P.93–98.
- [21] Protégé: A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems: <https://protege.stanford.edu>.
- [22] Neo4j Graph Database & Analytics: <https://neo4j.com>.
- 

## About the authors

**Anton Alekseevich Romanov** (b. 1986) graduated from the Ulyanovsk State Technical University (UISTU) in 2009, PhD (2013). He is the Head of the Department of Information systems at the UISTU. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence. He is a co-author of about 100 scientific articles and abstracts in the field of Data and Process Mining. Author ID (RSCI): 684949; Author ID (Scopus): 55903279200. [romanov73@gmail.com](mailto:romanov73@gmail.com).

**Ivan Alekseevich Rubtsov** (b. 1994) graduated from the UISTU in 2014. He received a Master degree in Design and Technological Support of Mechanical Engineering Production in 2016. Head of the Laboratory of innovative technologies in mechanical engineering at the UISTU. [ria0294@mail.ru](mailto:ria0294@mail.ru).

**Kirill Valerievich Svyatov** (b. 1985) graduated from the UISTU in 2008, PhD (2012). He is the Head of the Department of computer engineering at the UISTU. He is a co-author of about 60 scientific articles and abstracts in the field of AI, Robotics, and Machine learning. Author ID (RSCI): 609222; Author ID (Scopus): 57209745122. [k.svyatov@gmail.com](mailto:k.svyatov@gmail.com).

**Aleksey Aleksandrovich Filippov** (b. 1987) graduated from the Ulyanovsk State Technical University in 2009, PhD (2013). He is an Associate Professor of the Department of information systems at the UISTU. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence. He is a co-author of about 120 scientific articles and abstracts in the field of Knowledge Engineering and Data Mining. Author ID (RSCI): 708454; Author ID (Scopus): 57191472723. [al.filippov@gmail.com](mailto:al.filippov@gmail.com) ✉.

---

Received November 24, 2023. Revised January 16, 2024. Accepted February 1, 2024.

---

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118



### Обеспечение актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе онтологической модели

© 2024, В.В. Антонов<sup>1</sup>, К.А. Конев<sup>1</sup>, Е.В. Пальчевский<sup>2</sup>, Л.Е. Родионова<sup>1</sup>, Л.И. Баймурзина<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

<sup>2</sup>Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

#### Аннотация

Рассмотрена задача обеспечения актуальности знаний о бизнес-процессе предприятия на основе его онтологической модели. Устаревание моделей бизнес-процессов предприятия ведёт к необходимости перепроектирования решений по их автоматизации. Приведены подходы к решению задачи поддержания актуальности модели бизнес-процесса. Исследован нормативный базис бизнес-процесса предприятия на предмет его подобия моделям, разрабатываемым для решения задач по автоматизации, и сделан вывод о наличии у них общей основы. Это позволяет рассматривать нормативный базис как метамодель и сохранять данные с использованием лингвистических переменных. Рассмотрены онтологические модели, построенные по стандарту *IDEF5* для наиболее распространённых нормативных документов бизнес-процесса. Выявлено, что одним из важнейших элементов управления промышленным предприятием и его бизнес-процессами является поддержание актуальности всех компонентов, включая ситуационно-онтологическую модель. Предложена методика интеграции онтологической модели в процесс актуализации нормативных документов предприятия, сохранения знаний о бизнес-процессе и извлечения их для формирования изменений к нормативным документам и к моделям, используемым для автоматизации бизнес-процессов. Рассмотрен пример применения методики для планирования ремонта оборудования, осуществляемого вне основного плана работы.

**Ключевые слова:** онтологическая модель, лингвистическая переменная, нормативный базис, бизнес-процесс, поддержка принятия решений, хранилище данных.

**Цитирование:** 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.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2023-0007.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Введение

Проблема устаревания моделей бизнес-процессов (БП) и построенных на их основе информационных систем (ИС) известна разработчикам ИС [1]. Внешние условия для предприятия непрерывно изменяются: пересматриваются стандарты и законы, внутренние политики и регламенты, появляются новые продукты, материалы, методы, технологии. В результате знания о том, как необходимо использовать конкретный программный пакет, реализующий стратегию ИС, теряют актуальность, что ведёт к снижению эффективности БП. Поэтому со-

здание средств автоматизации БП не является разовым и повторяется с учётом новых требований и ограничений. Устаревание моделей приводит к необходимости перепроектирования и значительным затратам, что может снизить эффективность использования информационных технологий (ИТ) в БП.

Важным аспектом этого процесса является эволюция глоссария - постепенное изменение семантики понятий и терминов, которыми пользуются участники БП. Необходимо обеспечить алгоритмическое, документационное и лингвистическое соответствие модели БП практике. Это достигается применением комплексных моделей, концептуальным уровнем которых являются онтологические модели (ОМ). Актуальна разработка методики преобразования ОМ в нормативные документы, обеспечивая сохранение в них накопленного опыта.

## 1 Подходы к решению задачи поддержания актуальности модели БП

Интеграция моделей БП в организационные процессы предприятия осуществляется за счёт создания методик трансформации моделей в документацию и включения их в существующие на предприятии внутренние процессы актуализации. Например, возможность формирования из модели БП стандарта предприятия позволит включить эту модель в процедуру актуализации стандарта, поскольку для выполнения любого изменения этого нормативного документа сначала необходимо уточнить модель.

Задача автоматической генерации одной модели из другой решалась многими исследователями. В статье [2] описывается подход к преобразованию объектной модели *IDEF3* в диаграмму классов *UML*. Статья [3] представляет исследование, в котором предложен подход к автоматическому извлечению *OWL*-онтологий из диаграмм классов *UML* с сохранением семантики. В [4] анализируются возможности автоматической генерации тестовых сценариев на основе моделей БП и приводятся примеры решения данной задачи. В работе [5] представлен подход к автоматизированной генерации сервис-ориентированных модульных систем производства на основе моделей таких систем.

В статье [6] приведена методика разработки общей системной модели для ИС предприятия, построенной по методологии *SADT (Structured Analysis and Design Technique* – метод структурного анализа и проектирования) по стандарту *IDEF0*. Проводились исследования по преобразованию модели *IDEF0* в другие документы, например, в должностные инструкции и руководства по качеству [8]. Показана возможность практического применения предложенной методики. В [6] рассматривается методика развёртывания в текстовый файл данных из модели, где БП описывается в стандарте ИСО 9001 [10] согласно требованиям к текстовым документам.

## 2 Нормативный базис (НБ) в модели управления предприятием

При повышении эффективности деятельности предприятия за счёт автоматизации БП важно принятие тезиса о том, что знания о лучших практиках деятельности предприятия уже имеются, а специалисты по внедрению должны правильно подобрать инструмент для их использования [11]. Знания предприятия могут быть явными и внутренними [12]. Явные знания – это совокупность нормативной, технологической, справочной и проектной документации, в которой описаны правила выполнения функций и операций БП предприятия, а внутренние – опыт работников, их понимание правил действий в каждой ситуации, соглашения о правилах поведения, нормы корпоративной культуры и т.д. Соотношение явных и внутренних знаний предприятия может регулироваться и имеет тенденцию к отчуждению знаний в пользу пер-

вого. Формализация на предприятии растёт, что усложняет задачу увязки моделей, которые формируют проектировщики для внедрения ИТ и НБ.

Существует некоторое множество знаний о предприятии, которое можно сопоставить с НБ, с моделями специалистов по внедрению ИТ и других специалистов – участников БП. Формы представления знаний во всех источниках разные, что затрудняет взаимообмен знаниями. Можно воспользоваться применяемым в математике инструментарием для работы с разнородной информацией – лингвистическими переменными. Лингвистические переменные используются для описания качественных и количественных характеристик языка. Они могут представлять собой термины, понятия, лингвистические признаки и параметры [13].

В лингвистике широко используются фонологическая модель и модель лингвистических признаков. Фонологическая модель базируется на системе фонем, которыми оперирует язык. Модель лингвистических признаков основывается на совокупности признаков, которые могут характеризовать звуки языка, например, место и способ образования звука [14].

Применительно к рассматриваемой в статье задаче в качестве лингвистических переменных для сохранения информации из моделей могут использоваться компоненты семантики: понятия, признаки, свойства описываемого БП в его модели и в стандарте [15].

Положения стандарта отвечают понятиям декартово замкнутой категории, поскольку, согласно определению для категории стандарта  $S$ , выполняются все три условия:

- существует в  $S$  терминальный объект (специальная лингвистическая переменная), с которого начинается чтение документа;
- любые два объекта  $X, Y$  в  $S$  имеют произведение  $X \times Y$ , т.е. имеется такой общий объект, имеющий морфизмы (требования) во все объекты, т.е. любые комбинации требований дают новые требования;
- любые два объекта  $Y, Z$  в  $S$  имеют экспоненциал  $Z^Y$ , т.е. существует множество функций из  $Y$  в  $Z$  над лингвистическими переменными, задающими требования стандарта.

В результате появляется возможность сформировать теоретико-множественную модель, пригодную для хранения правил как организационного (нормативные документы), так и технологического (модели БП) уровней. Лучшим выбором в данной связи представляется ОМ, обладающая наибольшей широтой из всех применяемых на практике.

Развитию ОМ способствовало появление стандарта *IDEF5* [16], который позволяет упростить процесс анализа данных и получения информации о проектных решениях. Структурированная система ОМ позволяет оценить каждый элемент проекта и принять обоснованное решение о перспективах его дальнейшего развития на основе данных [17].

При создании ОМ необходимо обеспечить замкнутость на нижних уровнях при декомпозиции абстрактного уровня, что соответствует логике высказывания и формальной логике первого порядка. Исключаются логические противоречия при решении задач идентифицируемости и прослеживаемости информационных объектов.

Формальная система (ФС) ОМ имеет вид:  $\Phi C = \langle G, R, O \rangle$ , где:  $G$  – множество базовых элементов;  $R$  – совокупность правил (предикаты на множестве базовых элементов);  $O$  – множество операций (синтаксические правила построения слов и формул - алгебра) [18].

ФС отличается свойством автономности. Если  $O$  – пустое множество, то ФС формируется в системную модель (СМ). Под СМ понимается организационно-функциональная система, включающая множество информационных объектов: в структурном, информационном, семантическом, лингвистическом, математическом и других представлениях. Если  $R(G)$  является пустым множеством, то получается формальная алгебра.

Пусть  $\sigma$  - совокупность сведений, характеризующих объекты,  $Z$  - множество объектов предметной области (ПрО),  $z_i \in Z$  — объект из множества объектов. Часть сведений, харак-

теризующих объект, можно представить в виде множества его информационных характеристик  $x_i = \{\langle A_i, D_i \rangle \mid x_i \subset \sigma\}$ , где  $A_i$  - непустое множество имён свойств (атрибутов)  $i$ -го объекта,  $D_i$  - множество значений соответствующих атрибутов,  $x_i$  - множество информационных характеристик  $i$ -го объекта.

Может быть составлен словарь элементов допустимых значений, подразделённый на классы, что позволяет представить ПрО в виде иерархической структуры. Значения разбиваются на классы объектов, которые взаимодействуют друг с другом на основе правил.

Пусть  $\pi$  - множество правил выбора. Условия выбора объекта из множества альтернатив могут быть представлены в виде кортежа  $y = \langle \sigma, \pi \rangle$ . На множестве атрибутов могут быть установлены отношения  $G = \{\bar{G}, \tilde{G}\}$ , которые делятся на количественные  $\bar{G}$  и качественные  $\tilde{G}$ , а также определено множество типов выбора, например  $T = \{\text{«соответствие»}, \text{«эквивалентность»}, \text{«предпочтение»}\}$ . Тогда любое правило выбора может быть представлено кортежем  $\pi = \langle G, T \rangle$ .

Таким образом, информацию об объекте  $z_i \in Z$  можно представить в виде совокупности информационных характеристик объекта  $x_i = \{\langle A_i, D_i \rangle \mid x_i \subset \sigma\}$ , установленных отношений  $G = \{\bar{G}, \tilde{G}\}$  и правил установления отношений  $\pi = \langle G, T \rangle$ .

$$z_i = \{x_i, G, \pi\} = \{\langle A_i, D_i \rangle, \bar{G}, \tilde{G}, T\}, i \in N \quad (1)$$

Характеристика каждого объекта  $x_i$  может быть описана соответствующей лингвистической переменной  $\langle A_j, T_j, D_j \rangle$ , где  $T_j = \{T_1^j, T_2^j, \dots, T_{m_j}^j\}$  - терм-множество лингвистической переменной  $A_j$  (набор лингвистических значений атрибута),  $m_j$  - число значений атрибута;  $D_j$  - (предметная шкала) базовое множество атрибута  $A_j$ . Для описания термов  $T_k^j, k = 1, \dots, m_j$ , соответствующих значениям атрибута  $A_j$ , использованы нечёткие переменные  $\langle T_k^j, D_j, \tilde{C}_k^j \rangle$ , т.е. значение  $T_k^j$  описывается нечётким множеством  $\tilde{C}_k^j$  в базовом множестве  $D_j$ :

$$\tilde{C}_k^j = \left\{ \left\langle \mu_{C_k^j}(d) \mid d \right\rangle \right\}, d \in D_j, k = 1, \dots, m_j, \text{ где} \quad (2)$$

$\mu_{C_k^j}(d)$  - функция принадлежности для каждого  $k$  количественно градуирует принадлежность элементов множества  $d \in D_j$  нечёткому множеству  $\tilde{C}_k^j$ .

Тогда в качестве нечёткой характеристики объекта  $x_i$  может быть взято нечёткое множество второго уровня, представленное в формуле

$$\tilde{x}_i = \left\{ \left\langle \mu_{x_i}(a_j) \mid a_j \right\rangle \right\}, \mu_{x_i}(a_j) = \bigcup_{k=1}^{m_j} \left\{ \left\langle \mu_{\mu_{x_i}}(T_k^j) \mid T_k^j \right\rangle \right\}, T_k^j \in T_j, a_j \in A_j, \quad (3)$$

где  $\mu_{x_i}(a_j)$  и  $\mu_{\mu_{x_i}}(T_k^j)$  - функции принадлежности элементов множеств  $T_k^j \in T_j$  и  $a_j \in A_j$  соответствующим нечётким множествам. Конкретный вид функций принадлежности может отличаться для крайних и средних терм-множеств, минимальной и максимальной интенсивности проявления признака.

Таким образом, ПрО можно представить в виде многоуровневой среды, состоящей из множества элементов ПрО, множества функций и методов, работающих на этих элементах, и множества свойств элементов и отношений между элементами, т.е. в виде ОМ, которая включает в себя описание свойств ПрО и взаимодействия объектов на формальном языке.

### 3 Методика поддержания актуальности модели управления

Разработка моделей и методов моделирования позволят предприятиям, например электроэнергетики, дистанционно использовать ИС учёта электрической энергии (ЭЭ), в режиме онлайн снимать показания потребителей, фиксировать отклонения и определять качество ЭЭ. Накапливающиеся массивы данных, хранящиеся в базах данных (БД) и знаний (БЗ), многообразны. Для их обработки и анализа необходима разработка математической модели устойчивости показателей/индикаторов [19].

При большом объёме автоматического управления современными ЭЭ системами (ЭЭС) значительная доля работы остаётся в автоматизированном и ручном режимах. После возникновения исключительной ситуации ЭЭС автоматически переходит от одного из нормальных состояний (НС)  $S^n = \{S^n_1, \dots, S^n_k\}$  в одно из аварийных состояний (АС)  $S^a = \{S^a_1, \dots, S^a_l\}$ .

Целью управления системой является возврат системы из множества АС в состояние из множества НС, при этом она должна поэтапно пройти через ряд состояний из множества восстановительных состояний  $S^v = \{S^v_1, \dots, S^v_m\}$ . Все состояния являются элементами множества  $S$  и определяются однозначно на основе множества  $S = \{AS, I, K, M\}$ , где  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$  – множество конфигураций (состояний) системы;

$AS = \{AS_1, AS_2, \dots, AS_m\}$  – множество характеристик аварийных ситуаций;

$I = \{I_1, I_2, \dots, I_j\}$  – множество информационных характеристик исходов аварийных ситуаций;

$K = \{K_1, K_2, \dots, K_i\}$  – множество информационных характеристик пользователей;

$M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  – множество информационных характеристик математических моделей.

ИС, включающая предметно-ориентированную БЗ, должна быть ассоциирована с ней и подвергаться постоянному развитию, поскольку потеря актуальности значимой информации может привести к ложным выводам. Для этого в модели необходимо предусмотреть специальные узлы «новая категория» и «новые характеристики», которые будут актуальны при введении новых данных (см. рисунок 1).

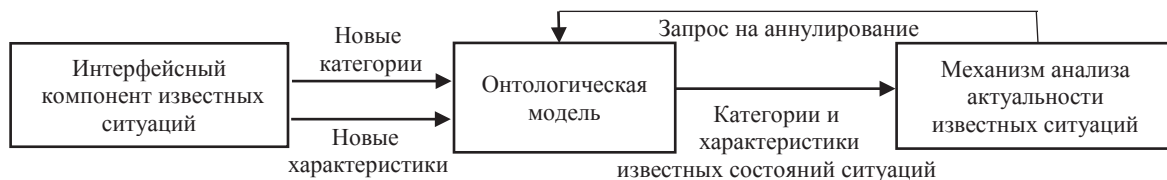


Рисунок 1 – Концептуальная схема адаптации онтологической модели

Новые категории будут определять ситуации, варианты решения, сценарии действий, а характеристики – наборы параметров и критериев, которые их описывают. Для интерпретации такого подхода по стандарту *IDEF5* в качестве категорий могут быть взяты названия элементов (объектов, экземпляров, процессов), а в качестве характеристик – значения, которые ассоциированы с отношениями. В онтологической форме характеристики могут проявлять себя не полно, в виде правил, типов отношений или их мощности. При переходе к детальным моделям они могут формировать множества измеряемых свойств.

Предлагаемая методика позволяет создать гибкую ИС, лишённую ограничений благодаря её открытости. Каждая известная ситуация может продолжать развиваться путём включения в неё новых категорий, характеристик и правил, которые перечисляемы и измеряемы. Это позволит ИС адаптироваться к меняющимся условиям функционирования БП. Для формального описания процесса интеграции ситуационно-онтологической модели (СОМ) или её компонентов в НБ промышленного предприятия могут быть введены обозначения множеств:

- структура правил  $N$ ;



- элементы SOM  $O$ ;
- нормативные, технологические и рабочие документы  $D$ ;
- функции отображения правил из множества элементов модели на множество документов  $m$ .

Процесс интеграции SOM может быть представлен в виде формулы:  $N = \langle O, D, m \rangle$ .

Правила отображения элементов онтологии на документы таковы, что документы представляются как правила, которые могут быть сведены к логике прецедентов «Если-То» [20]. OM содержат функции и правила, которые их связывают. На основе этой аналогии могут быть построены алгоритмы генерации документов. К примеру, нормативный документ или инструкция могут быть представлены в виде условий и ограничений для выполнения функции (раздел «Если»), а также вариантов реакций - сценариев работы (раздел «То»). Последовательный переход от одной функции к другой достигается путём перебора элементов модели (переход на более нижний уровень – композицией, а на более высокий – обобщением). Операторы условий могут быть использованы для реализации безусловного перехода на нужный элемент последовательности [21].

В целях повышения эффективности системы поддержки принятия решений (СППР) на промышленных предприятиях необходимы SOM. Одним из важнейших элементов управления промышленным предприятием или его БП на основе СППР является метод поддержания актуальности соответствующих компонентов. Реализация данного метода осуществляется через разработку и интеграцию моделей ИС в нормативные и технологические документы предприятия для создания ситуации, в которой любые изменения в документах не были бы возможны без соответствующих изменений в модели БП предприятия. Модель БП должна храниться в виде записей в БД (см. рисунок 2).

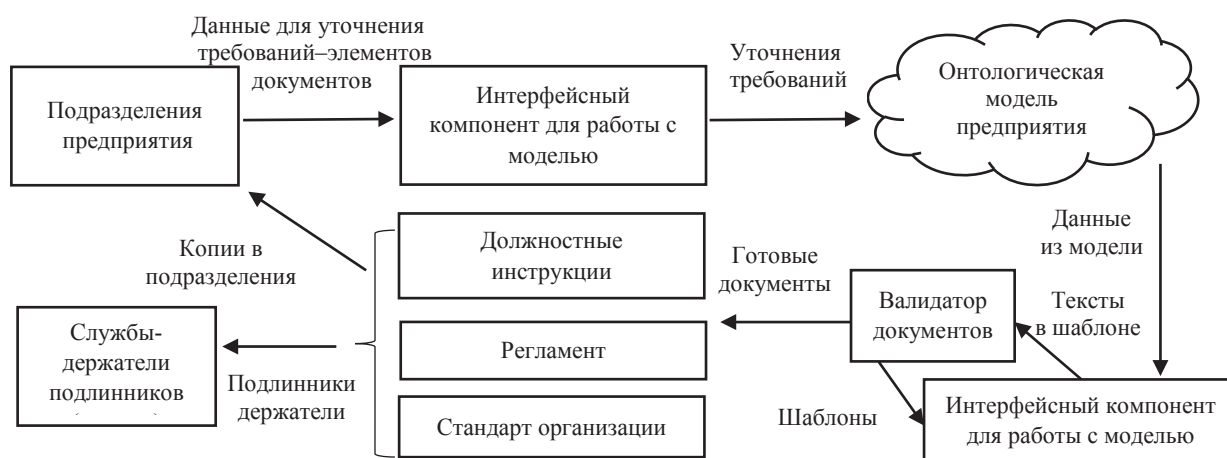


Рисунок 2 – Схема поддержания актуальности модели объекта управления

Для сохранения модели в удобном к дальнейшим преобразованиям виде текстовых документов необходимо применить специальный программный продукт, который обладает возможностью формирования SOM и генерации из неё различных типов нормативно-технологических документов. Это предполагает разработку редактора модели, позволяющего управлять многоуровневой моделью. Менее затратным и более реалистичным путём является создание специализированных генераторов документации, основанных на интерпретации графов моделей и их компонентов.

Разработанная SOM должна учитывать формальные и неформальные правила, хранить значимые знания и выявленные закономерности. Новые решения, принятые с помощью СППР, для актуализации опыта должны регистрироваться в модели, что можно осуществить

за счёт использования логики прецедентов. Отдельную задачу составляет оценка последствий принятых решений.

С целью сохранения опыта экспертов необходимо перенести коммуникации между уровнями иерархии в информационную среду за счёт формирования указаний по метаправилам языка. Программа должна автоматически выделять необходимые сущности и интегрировать их в модель, что позволит обеспечить самоактуализацию модели (см. рисунок 3).

Требования стандарта на теоретико-множественном языке можно представить в виде следующего выражения:

$N = \{ C, A, R, P, NL, Rf, S, D \}$ , где:

$N$  – объекты-требования;  $C$  – условия;  $A$  – действия и состояния;  $R$  – роли и ответственность;  $P$  – периодичность или сроки;  $NL$  – привязка к стандарту;  $Rf$  – ссылки;  $S$  – сила требований;  $D$  – комментарии.

Структурная конфигурация БП состоит из элементов, включающих действия и состояния, условия, роли и ответственность. Наиболее востребованные методы моделирования БП (*IDEF0*, *BPMN*, *EPC* и др.) способны описать все данные компоненты. Используя графоаналитическую модель, можно передать большую часть элементов, которые являются основой стандарта предприятия. Оставшиеся компоненты, включая периодичность, связь с другими стандартами, указание на источники требований и комментарии относятся к конкретным действиям или группам состояний и могут быть однозначно определены и описаны в модели принятого языка моделирования БП. Таким образом, все компоненты стандарта предприятия могут быть извлечены из модели, созданной на любом языке моделирования БП.

Логикой процесса формирования документа определяются требования к функциональности соответствующего генератора, который необходимо оснащать механизмами: идентификации в заданной модели определённого артефакта; получения графической и текстовой информации из модели для обеспечения возможности последовательного развёртывания текстового документа, дополненного необходимыми элементами стандарта предприятия (титальный лист и т.п.).

Важно обеспечить надёжную связь между моделью БП и действующими документами предприятия. Для этого целесообразно использование организационных методов. Разработчики стандарта и других формируемых из модели документов должны быть поставлены в такое положение, чтобы изменения в стандартах могли быть внесены только путём изменения модели и генерации новой версии документа. Тогда эксперты ПрО вынуждены «делиться знаниями» с моделью, поскольку при обновлении нормативной экосистемы предприятия им придётся обновлять и соответствующие модели, на основе которых строятся БП в СППР.

Применение данной методики может быть рассмотрено на примере планирования планово-предупредительного ремонта (ППР) для ликвидации небольших изъянов в работе оборудования предприятия, который осуществляется вне основного плана (ППР, межремонтная профилактика).

Для описания модели функционирования БЗ можно ввести следующие обозначения:

$i$  – порядковый номер оборудования  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – количество оборудования;  $k(i)$  – наименование  $i$ -го оборудования;

$d(k(i))$  – дата производства  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;



Рисунок 3 – Схема самоактуализации модели процесса

$d_1(k(i))$  – периодичность межремонтного обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  согласно правилам технической эксплуатации;  
 $d_2(k(i))$  – периодичность текущего ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  согласно правилам технической эксплуатации;  
 $d_3(k(i))$  – периодичность капитального ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  согласно правилам технической эксплуатации;  
 $\tilde{d}_1(k(i))$  – дата последнего межремонтного обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $\tilde{d}_2(k(i))$  – дата последнего текущего ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $\tilde{d}_3(k(i))$  – дата последнего капитального ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $\bar{d}_1(k(i))$  – дата следующего межремонтного обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $\bar{d}_2(k(i))$  – дата следующего текущего ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $\bar{d}_3(k(i))$  – дата следующего капитального ремонта  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$ ;  
 $date$  – дата, на которую составляется план;  
 $plan(date)$  – ППР, который необходимо организовать согласно плану.

$$plan(date) = \begin{cases} MO, & \text{для межремонтного обслуживания;} \\ TP, & \text{для текущего ремонта;} \\ KP, & \text{для капитального ремонта.} \end{cases}$$

Дата следующего межремонтного обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  –  $\bar{d}_1(k(i))$  определяется в БЗ, построенной на основе продукционной модели:

ЕСЛИ  $\tilde{d}_1(k(i)) = 0$ , ТО  $\bar{d}_1(k(i)) = d(k(i)) + d_1(k(i))$ ; ИНАЧЕ  $\bar{d}_1(k(i)) = \tilde{d}_1(k(i)) + d_1(k(i))$ .

Аналогичным образом в БЗ определяется дата следующего текущего ремонта обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  –  $\bar{d}_2(k(i))$ :

ЕСЛИ  $\tilde{d}_2(k(i)) = 0$ , ТО  $\bar{d}_2(k(i)) = d(k(i)) + d_2(k(i))$ ; ИНАЧЕ  $\bar{d}_2(k(i)) = \tilde{d}_2(k(i)) + d_2(k(i))$ .

Дата следующего капитального ремонта обслуживания  $i$ -го оборудования с наименованием  $k$  –  $\bar{d}_3(k(i))$ :

ЕСЛИ  $\tilde{d}_3(k(i)) = 0$ , ТО  $\bar{d}_3(k(i)) = d(k(i)) + d_3(k(i))$ ; ИНАЧЕ  $\bar{d}_3(k(i)) = \tilde{d}_3(k(i)) + d_3(k(i))$ .

После того, как в БЗ будут определены даты: межремонтного обслуживания, текущего ремонта и капитального ремонта, следует определить ППР, который необходимо организовать согласно плану. Это выполняется также в БЗ:

ЕСЛИ  $date = \bar{d}_1(k(i))$ , ТО  $plan(date) = MO$ ; ЕСЛИ  $date = \bar{d}_2(k(i))$ , ТО  $plan(date) = TP$ ;

ИНАЧЕ  $plan(date) = KP$ .

Таким образом, показана возможность использования прецедентной модели для описания НБ правил в процессе принятия решений о ремонте на примере БП планирования ППР для предприятия. Основная идея рассмотренного в статье подхода заключается в том, что стандарты и модели БП, хотя и могут быть формализованы разными способами, содержат подобную информацию – правила. Могут быть созданы способы выделить эти правила, хранить их и сформировать на их основе стандарты и модели.

## Заключение

Проведено исследование ПрО промышленного предприятия для поиска способов поддержки актуальности моделей БП и построенных на их основе ИС. Для хранения семантиче-

ских элементов предложено использование лингвистических переменных. В качестве прикладного функционала обеспечения актуализации моделей предложено использовать встроенные алгоритмы по актуализации НБ БП предприятия. Показано подобие семантического ядра документов предприятия и моделей БП, используемых для автоматизации БП, что позволяет хранить их в виде лингвистических переменных в едином хранилище информации. В качестве наиболее подходящей основы для моделирования семантики нормативных документов и моделей БП выбрана ОМ в формате стандарта *IDEF5*.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Переверзев П.П.** Функциональное моделирование процессов организации производства на машиностроительных предприятиях. *Современные проблемы науки и образования*, 2012, №2, С.259-267. EDN OXCNQL.
- [2] **Хубаев Г.Н., Широбокова С.Н., Щербakov С.М.** Преобразование Idef3-моделей в UML-диаграммы для автоматизированного синтеза имитационных моделей. *Европейский журнал экономических наук и управления*, 2016, № 4, С.15-24. EDN YIQRMH.
- [3] **Xu Zh., Ni Yu., He W., Yan Q.** Automatic extraction of OWL ontologies from UML class diagrams: a semantics-preserving approach. *World Wide Web*, 2012, vol.15, No.5, P.517-545. DOI: 10.1007/s11280-011-0147-z.
- [4] **Yazdani Sequerloo A., Amiri M.Ja., Parsa S., Koupaee M.** Automatic test cases generation from business process models. *Requirements Engineering*, 2019, vol.24, No.1, P.119-132. DOI: 10.1007/s00766-018-0304-3.
- [5] **Mohammed El Amin Tebib, Pascal Andre, Olivier Cardin.** A Model Driven Approach for Automated Generation of Service-Oriented Holonic Manufacturing Systems. SOHOMA 2018 - International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, 2018, Bergamo, Italy, P.183-196. DOI: 10.1007/978-3-030-03003-2\_14.
- [6] **Марка Д., Макгоуэн К.** Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с.
- [7] **Репин В.В., Елиферов В.Г.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008, 408 с.
- [8] **Конев К.А.** Проектируем модульное руководство по качеству. *Методы менеджмента качества*, 2015, №1, С.26-31. EDN UQDFSH.
- [9] **Куликов Г.Г., Конев К.А.** Методология управления машиностроительным предприятием на основе интеграции его бизнес-процессов. *Вестник УГАТУ*, 2006, № 2, Т.7., С.82-91. EDN HVHKL D.
- [10] ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2019.
- [11] **Прохоров А.И.** Современные тенденции управления знаниями в организации. *Общество: социология, психология, педагогика*, 2023, №7 (111), С.21-25. DOI: 10.18522/2687-0770-2023-2-20-31.
- [12] **Шведин Б.Я.** Онтология предприятия: экспириентологический подход. Технология построения онтологической модели предприятия. М.: ЛЕНАНД, 2010, 240 с.
- [13] **Comrie V.** Language Universals And Linguistic Typology. University Of Chicago Press, 1989, 275 p.
- [14] Лингвистический энциклопедический словарь // Большая российская энциклопедия. Гл. ред. В.Н. Ярцева. М., 2002, 707 с.
- [15] ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения. М.: Стандартинформ, 2016, 23 с.
- [16] **Perakath C. Benjamin и др.** Отчёт о методе IDEF5. 1994. <https://www.scss.tcd.ie/Andrew.Butterfield/Teaching/CS4098/IDEF/Idef5.pdf>.
- [17] **Каунг М.Х.** Анализ онтологических языков (о языках CYCL, Dogma, Gellish, IDEF5, KIF, RIF и OWL). *Инновации и инвестиции*, 2017, № 12, С.224-228.
- [18] **Мендельсон Э.** Введение в математическую логику. М.: Наука, 1971, 320 с.
- [19] **Антонов В.В., Бельтюков А.П., Куликов Г.Г., Родионова Л.Е.** Метод формального онтологического моделирования и реализации функций системной инженерии на основе принципа достаточного разнообразия структурных связей. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*, 2019, Т.19, №4, С.13-26. DOI: 10.14529/ctcr190402.
- [20] **Мызников П.В.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в автоматическом анализе новостных текстов. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*, 2017, Т.15, №2, С59-65.
- [21] **Вариавский П.Р., Алехин Р.В., Ар Кар Мьо, Зо Лин Кхаинг.** Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем. *Программные продукты и системы*, 2015, № 2. С.26-31. EDN UCRAWX.

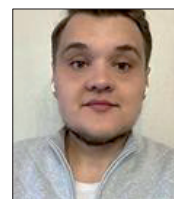
## Сведения об авторах

**Антонов Вячеслав Викторович**, 1956 г. рождения. Окончил Башкирский государственный университет (1979), к.т.н. (2007), д.т.н. (2015). Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ). В списке научных трудов более 150 работ в области построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 530537. AuthorID (Scopus): 57200254522; ResearcherID (WoS): ААН-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru).



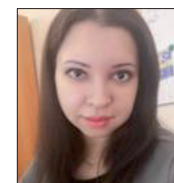
**Конев Константин Анатольевич**, 1977 г. рождения. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ) (2000), к.т.н. (2004). Доцент кафедры автоматизированных систем управления УУНиТ. Системный инженер и консультант компании *IPL Consulting*. В списке научных трудов более 40 работ в области систем поддержки принятия решений на основе моделирования бизнес-процессов в сфере обеспечения качества. AuthorID (РИНЦ): 544899; ORCID 0000-0002-8595-7738; Researcher ID (WoS): AED-0707-2022. [sireo@rambler.ru](mailto:sireo@rambler.ru).

**Пальчевский Евгений Владимирович**, 1994 г. рождения. Окончил УГАТУ (2019). Старший преподаватель департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных и учебных 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](mailto:teelxp@inbox.ru).



**Родионова Людмила Евгеньевна**, 1984 г. рождения. Окончила УГАТУ (2007), к.т.н. (2019). Доцент кафедры автоматизированных систем управления УУНиТ. В списке научных трудов около 10 работ в области проектирования программных аналитических комплексов на основе моделей и методов декартово замкнутой категории. AuthorID (РИНЦ): 852968. Author ID (Scopus): 57221335881; ORCID 0000-0003-4041-0365; Researcher ID (WoS): AAU-3498-2020. [lurik@mail.ru](mailto:lurik@mail.ru).

**Баймурзина Лилия Ифтаровна**, 1987 г. рождения. Окончила УГАТУ (2009). Старший преподаватель кафедры технологии производства летательных аппаратов УУНиТ. В списке научных трудов около 10 работ в области проектирования информационных аналитических систем. AuthorID (РИНЦ): 1185834; ORCID 0009-0009-1996-0494. [lilabay@mail.ru](mailto:lilabay@mail.ru) ✉



Поступила в редакцию 31.10.2023, после рецензирования 17.01.2024. Принята к публикации 2.02.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118

## Ensuring the relevance of enterprise business process knowledge based on an ontological model

© 2024, V.V. Antonov<sup>1</sup>, K.A. Konev<sup>1</sup>, E.V. Palchevsky<sup>2</sup>, L.E. Rodionova<sup>1</sup>, L.I. Baimurzina<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Finance University under the Government of the Russian Federation, Russia

### Abstract

The problem of ensuring the relevance of knowledge about the business process of an enterprise based on its ontological model is considered. The obsolescence of enterprise business process models leads to the need to redesign solutions for their automation. Approaches to solving the problem of maintaining the relevance of the business process model are presented. The regulatory basis of the business process of an enterprise was examined for its similarity to models developed to solve automation problems, and a conclusion was made that they have a common basis. This makes it possible to consider the regulatory basis as a metamodel and store data using linguistic variables. Ontological models built according to the IDEF5 standard for the most common regulatory documents of a business process are considered. It was

been revealed that one of the most important elements of managing an industrial enterprise and its business processes is maintaining the relevance of all components, including the situational ontological model. A methodology is proposed for integrating an ontological model into the process of updating enterprise regulatory documents, preserving knowledge about the business process and retrieving it to generate changes to regulatory documents and models used to automate business processes. An example of using the technique for planning equipment repairs carried out outside the main work plan is considered.

**Keywords:** *ontological model, linguistic variable, regulatory basis, business process, decision support, data storage.*

**Citation:** *Antonov VV, Konev KA, Palchevsky EV, Rodionova LE, Baimurzina LI. Ensuring the relevance of enterprise business process knowledge based on an ontological model [In Russian]. Ontology of designing. 2024; 14(1): 107-118. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-107-118.*

**Funding:** 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 that they have no conflict of interest.

## List of figures

Figure 1 - Conceptual scheme of ontology model adaptation

Figure 2 - Scheme for maintaining the relevance of the control object model

Figure 3 - Schema of the self-actualization process model

## References

- [1] **Pereverzev PP.** Functional modeling of production organization processes at machine-building enterprises [In Russian]. *Modern Problems of Science and Education*, 2012; 2: 259-267. EDN OXCNQL.
- [2] **Khubaev GN, Shirobokova SN, Shcherbakov SM.** Transformation of Idef3 models into UML diagrams for automated synthesis of simulation models [In Russian]. *European Journal of Economic Sciences and Management*, 2016; 4: 15-24. EDN YIQRMH.
- [3] **Xu Zh, Ni Yu, He W, Yan Q.** Automatic extraction of OWL ontologies from UML class diagrams: a semantics-preserving approach. *World Wide Web*, 2012; 15(5): 517-545. DOI: 10.1007/s11280-011-0147-z.
- [4] **Seqerloo YA, Amiri MJa, Parsa S, Koupaee M.** Automatic test cases generation from business process models. *Requirements Engineering*, 2019; 24(1): 119-132. DOI: 10.1007/s00766-018-0304-3.
- [5] **Tebib M El A, Andre P, Cardin O.** A Model Driven Approach for Automated Generation of Service-Oriented Holonic Manufacturing Systems. SOHOMA 2018 - International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, 2018, Bergamo, Italy, P.183-196. DOI: 10.1007/978-3-030-03003-2\_14.
- [6] **Marka D, McGowan K.** Methodology of structural analysis and design (SADT) [In Russian]. Moscow: MetaTechnology, 1993, 240 p.
- [7] **Repin VV, Eliferov VG.** Process approach to management. Modeling of business processes [In Russian]. Moscow: RIA "Standards and Quality", 2008, 408 p.
- [8] **Konev KA.** Designing a modular quality manual [In Russian]. *Methods of quality management*. 2015; 11: 26-31. EDN UQDFSH.
- [9] **Kulikov GG, Konev KA.** Methodology of management of machine-building enterprise on the basis of integration of its business processes [In Russian]. *Vestnik UGATU*, 2006; 7(2): 82-91. EDN HVHKLD.
- [10] GOST R ISO 9000-2015. Quality management system. Basic provisions dictionary [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2019.
- [11] **Prokhorov AI.** Modern trends of knowledge management in the organization [In Russian]. *Society: sociology, psychology, pedagogy*, 2023; 7(111): 21-25. DOI: 10.18522/2687-0770-2023-2-20-31.
- [12] **Shvedin BYa.** Ontology of enterprise: an experiential approach. The technology of building an ontological model of the enterprise based on the analysis and structuring of living experience [In Russian]. Moscow: LENAND, 2010, 240 p.
- [13] **Comrie B.** Language Universals And Linguistic Typology // University Of Chicago Press, 1989, 275 p.
- [14] Linguistic Encyclopedic Dictionary [In Russian]. Big Russian Encyclopedia; Ed. by V.N. Yartsev, Moscow, 2002, 707 p.
- [15] GOST R 1.5-2012 Standardization in the Russian Federation. National standards. Rules of construction, presentation, design and designation [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2016, 23 p.

- [16] **Perakath C. Benjamin** et al. IDEF5 method report 1994. <https://www.scss.tcd.ie/Andrew.Butterfield/Teaching/CS4098/IDEF/Idef5.pdf>.
- [17] **Kaung MH**. Analyzing ontological languages (about CYCL, Dogma, Gellish, IDEF5, KIF, RIF and OWL languages) [In Russian]. *Innovation and Investment*, 2017; 12: 224-228.
- [18] **Mendelson E**. Introduction to mathematical logic. Moscow: Nauka, 1971, 320 p.
- [19] **Antonov VV, Beltyukov AP, Kulikov GG, Rodionova LE**. Method of formal ontological modeling and implementation of system engineering functions based on the principle of sufficient diversity of structural relations [In Russian]. *Bulletin of South Ural State University. Series: Computer Technologies, Management, Radioelectronics*, 2019; 19(4): 13-26. DOI: 10.14529/ctcr190402.
- [20] **Myznikov PV**. Modeling of reasoning based on precedents in automatic analysis of news texts [In Russian]. *Vestnik of Novosibirsk State University. Series: Informational technologies*, 2017; 15(2): 59-65.
- [21] **Varshavskiy PR, Alekhin RV, Ar Kar Myo, Zo Lin Khaing**. Realization of the precedent module for the intelligent systems [In Russian]. *Software Products and Systems*, 2015; 2: 26-31. EDN UCRAWX.
- 

## About the authors

**Vyacheslav Viktorovich Antonov** (b. 1956) graduated from the Bashkir State University (1979), PhD (2007), D. Sc. Eng. (2015). Professor of the Department of Automated Control Systems of the Ufa University of Science and Technology. The list of scientific papers contains more than 150 works in the field of building intelligent decision support systems. AuthorID (RCI): 530537. Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AAH-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru).

**Konstantin Anatolyevich Konev** (b. 1977) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (UGATU) (2000), Ph.D. (2004). Associate Professor of the Department of Automated Control Systems at UUNiT. System engineer and consultant at IPL Consulting. The list of scientific papers includes more than 40 works in the field of decision support systems based on modeling business processes in the field of quality assurance. AuthorID (RSCI): 544899. [sir-ee@rambler.ru](mailto:sir-ee@rambler.ru).

**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. [teelxp@inbox.ru](mailto:teelxp@inbox.ru).

**Lyudmila Evgenievna Rodionova**, (b. 1984) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2007), PhD (2019). Senior Lecturer of the Department of Automated Control Systems of the Ufa University of Science and Technology. The list of scientific papers contains about 10 works in the field of designing software analytical systems based on models and methods of a Cartesian closed category. AuthorID (RCI): 852968. Author ID (Scopus) 57221335881; ORCID 0000-0003-4041-0365; Researcher ID (WoS): AAU-3498-2020. [lurik@mail.ru](mailto:lurik@mail.ru).

**Liliya Iftarovna Baimurzina**, (b. 1987) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2009). Senior Lecturer at the Department of Aircraft Production Technology of the Ufa University of Science and Technology. The list of scientific papers includes about 10 works in the field of designing information analytical systems. AuthorID (RSCI) 1185834; ORCID 0009-0009-1996-0494 [lilabay@mail.ru](mailto:lilabay@mail.ru). ✉

---

Received October 31, 2023. Revised January 17, 2024. Accepted February 2, 2024.

---



# Логико-онтологическое моделирование управления рисками грузового порта

© 2024, И.О. Бондарева

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

## Аннотация

Предприятия любой сферы, в том числе в транспортно-логистическом секторе, сталкиваются с необходимостью получения конкурентного преимущества за счёт применения инновационных методов управления. К ним можно отнести комплексное использование методов управления организационными системами наряду с применением прогрессивных средств и технологий. Особое внимание уделяется управлению рисками с целью недопущения нежелательных ситуаций. В данной работе впервые представлено описание логико-онтологической модели комплексного применения многоуровневого целеполагания на основе сбалансированной системы показателей и логико-вероятностного моделирования для поддержки принятия решений по управлению рисками грузового порта. В качестве рисков рассматриваются ситуации недостижения целей деятельности грузового порта, включая недостижения нормативных значений показателей. Комплексное использование технологий сбалансированной системы показателей и логико-вероятностного моделирования позволило построить общую концепцию многоуровневого целеполагания. Её основное преимущество заключается в детальной проработке целей компании, подчинённых основной стратегической цели. Это позволяет оказывать влияние на операционные события и получать положительный результат в тактическом и стратегическом планах. Онтологическая модель содержит всю информацию о взаимодействии элементов, влияющих на наступление рисков событий, и позволяет осуществлять выборку вариантов выхода из рисков ситуации в соответствии с заданными условиями. Результаты запросов к риск-ориентированной онтологической модели являются вариантами управленческих решений, направленных на снижение рисков в работе грузового порта.

**Ключевые слова:** логико-онтологическое моделирование, управление рисками, сбалансированная система показателей, многоуровневое целеполагание, принятие решений, грузовой порт.

**Цитирование:** Бондарева И.О. Логико-онтологическое моделирование управления рисками грузового порта // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.119-133. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-119-133.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Наличие большого числа внешних факторов и связей предприятий транспорта, в т.ч. грузовые порты (ГП), приводят к необходимости изыскивать актуальные средства поддержки управленческих решений с целью их эффективной деятельности на рынке. Наличие в данном процессе рисков ситуаций представляется естественным и крайне нежелательным барьером для планомерного развития [1, 2]. В связи с этим компании заинтересованы в получении инструментария, позволяющего заблаговременно предвидеть подобные ситуации и посредством выработки оптимального управленческого решения ликвидировать риски, не давая им возможность перерасти в глобальные проблемы для целостной организационной системы.

## 1 Управление рисками ГП на основе многоуровневого целеполагания

Оценивать риски ГП предлагается с использованием концепции многоуровневого целеполагания [3]. В основе данной концепции лежит идея исследования целей ГП путём форму-



лирования генеральной (стратегической) цели с последующей декомпозицией её на детализированные. Высокая степень детализации целей позволяет при необходимости корректировать операционные события с целью получения положительного результата в тактическом и стратегическом планах в долгосрочной перспективе. Многоуровневость целеполагания присутствует в известном методе стратегического управления – сбалансированная система показателей (ССП) [4] и в данной работе – построенной многоуровневой логико-вероятностной (ЛВ) модели рисков ГП. Все цели, поставленные ГП, а также показатели оценки их достижения отражены в построенной ССП [5]. Под рисковыми подразумеваются ситуации, связанные с недостижением сформулированных целей ГП и установленных нормативных значений показателей оценки деятельности ГП. Логические и вероятностные связи между целями различных уровней целеполагания, показателями их оценки, а также связанными с ними рисками отражены в построенной ЛВ модели [6]. Составленные в рамках данной модели сценарии риска в комплексе с логическими и вероятностными моделями риска, связанными с каждой отдельной целью и оценивающими её показателями, могут быть использованы для нахождения явных и неявных причинно-следственных связей, а также выявления степени влияния отдельных составляющих на возможность наступления рискованной ситуации [7]. Устранение потенциального риска на более детализированном уровне позволяет исключить влияние стратегического риска на деятельность ГП [8]. Для связи воедино компонентов концепции управления рисками предлагается в качестве инструмента поддержки принятия решений использовать логико-онтологическую модель, включающую наряду с описанием элементов онтологии логическую интерпретацию взаимосвязей между структурными единицами онтологической модели (ОМ).

## 2 Логико-онтологическая модель управления рисками ГП

Использование выявленных причинно-следственных связей, обозначенных в построенной ЛВ модели [9, 10], позволило разработать ОМ управления рисками ГП. ОМ позволяет осуществить выборку вариантов выхода из предполагаемой ситуации риска в условиях влияния различных факторов. На основе запросов по конкретным ситуациям с помощью онтологии можно получить рекомендации для принятия управленческих решений.

Созданная ОМ отражает традиционный набор концептов-классов, утверждений, объектных свойств, свойств данных и продукционных правил [11]. Все элементы онтологии связаны на основе знаний о взаимосвязях между рисками, целями, показателями и элементами, входящими в расчёт показателей оценки деятельности ГП.

Онтологию  $O_{CPRM}$  «Управление рисками ГП» можно представить в виде следующего упорядоченного набора элементов:  $O_{CPRM} = \langle S, Ind \rangle$ , где  $S$  – утверждения, соответствующие уровню схемы онтологии  $O_{CPRM}$ , а  $Ind$  – множество утверждений, соответствующих индивидам онтологии. Множество  $S$  может быть определено кортежем, состоящим из следующих взаимосвязанных элементов:  $S = \{S^C, S^O, S^D, S^A\}$ , где  $S^C$  – множество утверждений, характеризующих классы (концепты) онтологии;  $S^O$  – множество утверждений, описывающих объектные свойства, объявленные и используемые в онтологии для формирования связей между концептами;  $S^D$  – множество утверждений, описывающих свойства данных и  $S^A$  – множество аксиом, представляющих основные ограничения для элементов множеств  $S^C, S^O, S^D$  [12].

### 2.1 Описание структурных элементов ОМ

В ОМ  $O_{CPRM}$  представлены три независимых родительских класса  $S^C$ :  $S^C = \{S^C_G, S^C_I, S^C_R\}$ , где  $S^C_G$  – родительский класс «Цели», содержащий сведения о целях, выявленных в ГП,  $S^C_I$  – родительский класс «Показатели», содержащий сведения о показателях оценки достижения

цели;  $S^C_R$  – родительский класс «Риски», содержащий сведения о рисках, с которыми может столкнуться ГП при достижении поставленных целей.

На рисунке 1 показана иерархическая структура классов ОМ. В качестве примеров на рисунке 2 представлены экземпляры классов «Цели» и «Показатели».

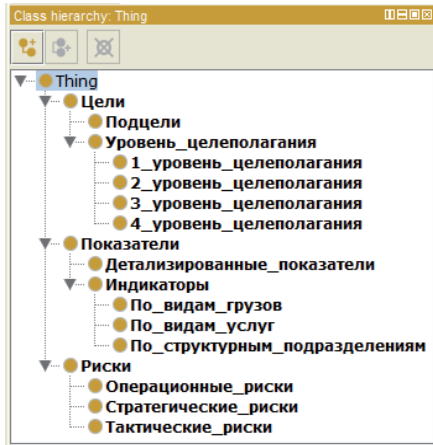


Рисунок 1 – Иерархическая структура классов онтологической модели

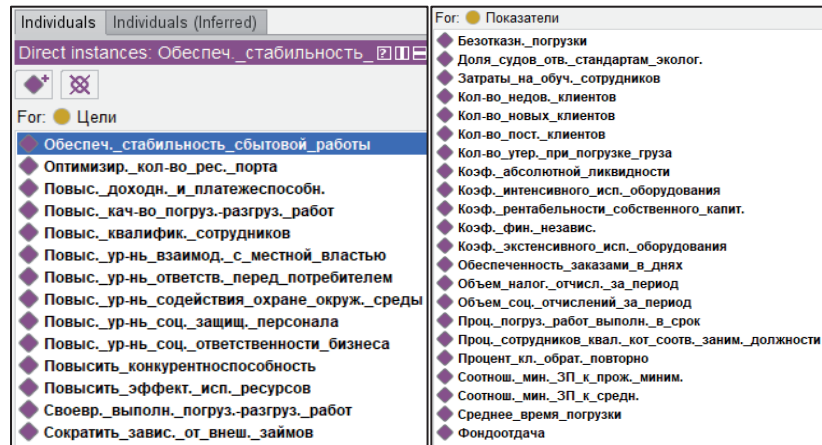


Рисунок 2 – Экземпляры классов «Цели» и «Показатели»

### 2.1.1 Класс «Цели»

Множество  $S^C_G$  может быть представлено совокупностью:  $S^C_G = \{GN, S^C_{DG}, S^C_{LGS}\}$ , т.е. родительский класс «Цели» включает экземпляр  $GN$ , соответствующий генеральной цели ГП (повышение конкурентоспособности), а также два дочерних класса:  $S^C_{DG}$  – «Подцели», содержащий сведения о детализированных целях, а также  $S^C_{LGS}$  – «Уровень целеполагания», содержащий сведения об уровнях целеполагания, к которым относятся каждая из детализированных целей. Таких уровней выделено четыре:  $S^C_{LGS} = \{S^C_{1LGS}, S^C_{2LGS}, S^C_{3LGS}, S^C_{4LGS}\}$ , где  $S^C_{1LGS}$ ,  $S^C_{2LGS}$ ,  $S^C_{3LGS}$  и  $S^C_{4LGS}$  включают детализированные цели с первого по четвертый уровни целеполагания.

Цель является детализированной тогда и только тогда, когда существует уровень целеполагания, к которому данная цель относится:  $S^C_{DG} = S^C_G \wedge S^C_{LGS}$  или, если класс любого из четырех уровней целеполагания содержит в себе данную цель  $S^C_{DG} = S^C_G \wedge (S^C_{1LGS} \vee S^C_{2LGS} \vee S^C_{3LGS} \vee S^C_{4LGS})$ , или  $S^C_{DG} = (S^C_G \wedge S^C_{1LGS}) \vee (S^C_G \wedge S^C_{2LGS}) \vee (S^C_G \wedge S^C_{3LGS}) \vee (S^C_G \wedge S^C_{4LGS})$ .  $GN$  находится вне четырех выделенных уровней целеполагания.

В связи с представлением целей в виде древовидной (многоуровневой) структуры, на вершине которой находится  $GN$ , необходимая к достижению и далее декомпозируемая на подцели, которые её поддерживают и обеспечивают, были созданы следующие взаимобратные связи:  $S^O_{DbG}$  – «подразделяется\_на\_цель» – связь, представляющая собой разделение цели на подцели, и  $S^O_{CtG}$  – «объединяется\_в\_цель» – связь, представляющая собой объединение подцелей в более крупную цель.

В случае, если любая цель может быть уточнена другой целью на более низком уровне, то цель нижнего уровня является подцелью  $S^C_{DG}$  для цели верхнего уровня. Таким образом множество целей имеет подмножество подцелей, которые также являются целями, но подцелями их делает наличие отношений  $S^O_{DbG}$  и  $S^O_{CtG}$  для соответствующих уровней целеполагания. Справедливы следующие соотношения:  $S^C_{DG} = S^C_G \wedge S^O_{DbG}$ ;  $S^C_G = S^C_{DG} \wedge S^O_{CtG}$ . С использованием инструмента *Protégé* построено дерево целей ГП, представленное на рисунке 3.

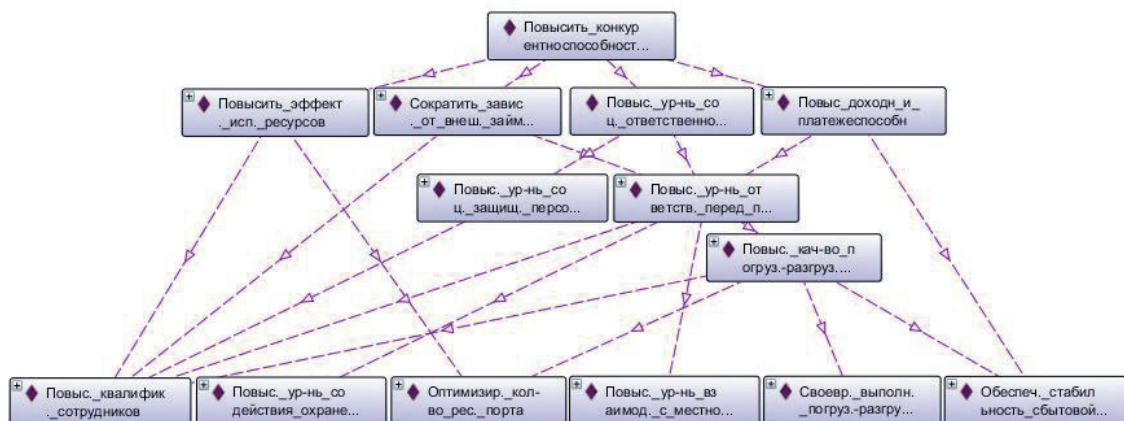


Рисунок 3 – Дерево целей грузового порта

Множество элементов класса  $S^C_{ILGS}$  можно представить следующим образом

$$S^C_{ILGS} = \{GN_1, GN_2, GN_3, GN_4\},$$

где цели:  $GN_1$  – сократить зависимости от внешних займов,  $GN_2$  – повысить эффективность использования ресурсов,  $GN_3$  – повысить уровень социальной ответственности бизнеса,  $GN_4$  – повысить доходность и платёжеспособность.

Для цели  $GN_1$  детализирующими целями следующего (второго) уровня являются:  $GN_{11}$  – повысить квалификацию сотрудников и  $GN_{12}$  – повысить уровень ответственности перед потребителями. Для цели  $GN_2$  детализирующими целями второго уровня целеполагания являются:  $GN_{21}$  и  $GN_{22}$  – оптимизировать количество ресурсов ГП. Для  $GN_3$ :  $GN_{31}$  – повысить уровень социальной защищённости персонала. Для  $GN_4$ :  $GN_{41}$  – обеспечить стабильность сбытовой работы. Второй уровень целеполагания представлен следующими экземплярами:  $S^C_{2LGS} = \{GN_{11}, GN_{12}, GN_{21}, GN_{22}, GN_{31}, GN_{41}\}$ .

Третий уровень целеполагания представляет декомпозиция цели  $GN_{12}$  на следующие:  $GN_{121}$  – повысить уровень содействия охране окружающей среды,  $GN_{122}$  – повысить уровень взаимодействия с местной властью,  $GN_{123}$  – повысить качество погрузочно-разгрузочных работ.  $S^C_{3LGS} = \{GN_{121}, GN_{122}, GN_{123}\}$ .

Четвёртый уровень целеполагания представляет декомпозиция цели  $GN_{123}$ . Достижение данной цели зависит от подцелей:  $GN_{1231}$  – своевременное выполнение погрузочно-разгрузочных работ и  $GN_{41}$ .  $S^C_{4LGS} = \{GN_{1231}, GN_{41}\}$ .

Главная стратегическая цель «Повысить конкурентоспособность», находящаяся на самом верхнем уровне, состоит из подцелей, расположенных на нижних уровнях. Выстраивание чёткой иерархии целей достигается за счёт присвоения связи  $S^O_{DbG}$  свойства транзитивности. Если имеются произвольные экземпляры  $GN$ ,  $GN_1$  и  $GN_{11}$  класса  $S^C_G$ , и они связаны каким-то свойством  $S^O_{DbG}$  класса  $S^O$ , и если  $S^O_{DbG}$  обладает характеристикой транзитивности, то из того, что  $GN$  связана с  $GN_1$  свойством  $S^O_{DbG}$  и  $GN_1$  связана с  $GN_{11}$  тем же свойством  $S^O_{DbG}$ , следует, что  $GN$  также связана с  $GN_{11}$  свойством  $S^O_{DbG}$ :

$$\text{if } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_1 \text{ and } GN_1 \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{11} \text{ then } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{11}.$$

Аналогично можно описать взаимосвязи всех остальных детализированных целей с  $GN$  ГП:

$$\text{if } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_1 \text{ and } GN_1 \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{12} \text{ then } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{12};$$

$$\text{if } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_2 \text{ and } GN_2 \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{21} \text{ then } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{21};$$

$$\text{if } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_3 \text{ and } GN_3 \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{31} \text{ then } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{31};$$

$$\text{if } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{12} \text{ and } GN_{12} \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{121} \text{ then } GN \xrightarrow{S^O_{DbG}} GN_{121};$$

$if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{122}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{122};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123}\ and\ GN_{123} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{1231}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{1231};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123}\ and\ GN_{123} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{41}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{41}.$

В большинстве случаев эти взаимосвязи представляют собой более глубокие соотношения (включают более трёх элементов детализации), например, в ряде случаев связь  $GN$  явно определяется через несколько уровней детализации:

$if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_1\ and\ GN_1 \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{11}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{11};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_1\ and\ GN_1 \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{121}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{121};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_1\ and\ GN_1 \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{122}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{122};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_1\ and\ GN_1 \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123}\ and\ GN_{123} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{1231}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{1231};$   
 $if\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_1\ and\ GN_1 \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{12}\ and\ GN_{12} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{123}\ and\ GN_{123} \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{41}\ then\ GN \xrightarrow{S_{DbG}^O} GN_{41}.$

На основе разработанной структуры связей и определения их характера осуществлена проверка правильности построения данных связей с помощью машины логического вывода *Reasoner*. Полученные логические выводы свидетельствуют о корректности ввода данных. На рисунке 4 представлены логические выводы для взаимосвязи стратегической цели со всеми детализирующими. Логические выводы *Reasoner* показаны в *Protégé* записями на сером фоне, записи на белом фоне – знания, заложенные в редактор вручную.

### 2.1.2 Класс «Показатели»

Родительский класс «Показатели»  $S_I^C$  включает факторы оценки достижения целей ГП, каждый из которых соединён с соответствующей целью (целями) отношением  $S_{EG}^O$  «оценивает\_цель», и означает, что фактор оценивает цель:  $S_I^C = S_G^C \wedge S_{EG}^O$ .

Цель имеет обратную связь  $S_{Sbl}^O$  «оценивается\_показателем», которая означает, что цель оценивается указанным фактором:  $S_G^C = S_I^C \wedge S_{Sbl}^O$ .

Связи  $S_{Sbl}^O$  и  $S_{EG}^O$  являются взаимообратными и имеют область значения «Цели – Показатели» и «Показатели – Цели» соответственно. Данные связи имеют свойства асимметричности и иррефлексивности. Свойство асимметричности означает, что связь действует только «в одну сторону», т.е. цель оценивается показателем, но показатель целью оцениваться никогда не будет. Свойство иррефлексивности означает, что действие (связь) никогда не будет направлено на себя, т.е. показатель никогда не будет оценивать самого себя.

Класс «Показатели» имеет следующую структуру:  $S_I^C = \{S_{DI}^C, S_{IDI}^C\}$ , где  $S_{DI}^C$  – дочерний класс «Детализированные показатели», содержащий сведения о детализированных показателях оценки функционирования ГП, а  $S_{IDI}^C$  – дочерний класс «Индикаторы», на основе которых осуществляется детализация показателей.

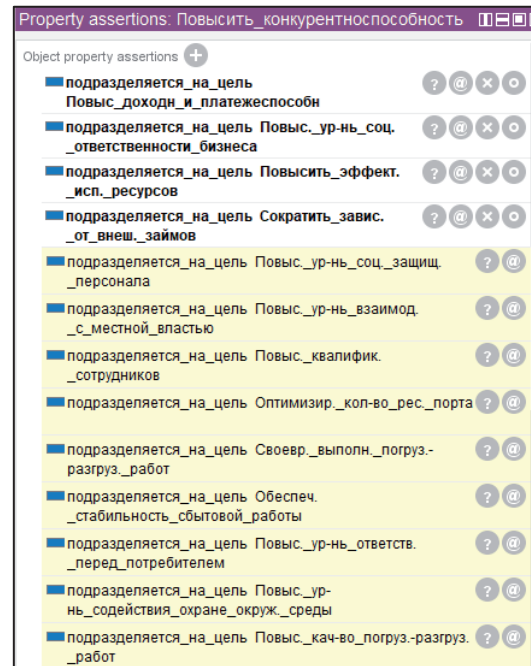


Рисунок 4 – Логические выводы инструмента *Reasoner* (взаимосвязь стратегической цели со всеми детализирующими)

Дочерний класс «Индикаторы»  $S_{IDI}^C$  подразделяется на три подкласса, отражающих виды детализированных показателей оценки функционирования ГП  $S_{IDI}^C = \{S_{ICT}^C, S_{ITS}^C, S_{ISS}^C\}$ , где детализация показателя:  $S_{ICT}^C$  – по видам грузов,  $S_{ITS}^C$  – по видам предоставляемых услуг,  $S_{ISS}^C$  – по структурным подразделениям ГП. На рисунке 5 представлены подклассы и экземпляры класса «Индикаторы».

Рисунок 5 – Подклассы и экземпляры класса «Индикаторы»

Индикаторы оценки соединены с показателями связью  $S_{DI}^O$  «детализирует\_показатель». Это означает, что показатель связью  $S_{DI}^O$  «детализируется\_индикатором» (обратная связь  $S_{DI}^O$ ) детализируется на перечисленные индикаторы. Индикатор позволяет детализировать показатель:  $S_{IDI}^C = S_I^C \wedge S_{DI}^O$ . Показатель связан с индикатором, детализирующим его:  $S_I^C = S_{IDI}^C \wedge S_{DI}^O$ . Детализированный показатель существует тогда и только тогда, когда есть индикатор, детализирующий показатель:  $S_{DI}^C = S_I^C \wedge S_{DI}^O \wedge S_{IDI}^C$ .

Отношения «детализирует показатель» и «детализируется индикатором» являются взаимнообратными, т.е. появление одной из этих связей влечёт обязательное появление другой. В связи с этим справедлива следующая формулировка: детализированный показатель есть результат детализации показателя индикатором:  $S_{DI}^C = S_I^C \wedge S_{IDI}^C \wedge S_{DI}^O$ .

Помимо описанных простых связей (объектных свойств) в онтологии присутствуют три составные связи:  $S_{HI}^O$  «имеет\_индикатор»,  $S_{DoI}^O$  «зависима\_от\_показателя» и  $S_{DoDI}^O$  «зависима\_от\_индикатора», которые рассматриваются как объектные свойства и носят составной характер. Данные связи созданы для того, чтобы отразить межуровневую зависимость между целями, оценивающими их показателями и индикаторами, напрямую детализирующими эти показатели.

Связь  $S_{HI}^O$  «имеет\_индикатор» состоит из цепочки связей  $S_{SbI}^O$  «оценивается\_показателем» и  $S_{DI}^O$  «детализируется\_на\_индикатор», объединёнными между собой оператором «о», с помощью которого задаются цепочки свойств; в owl-терминологии:  $S_{HI}^O = \langle S_{SbI}^O \text{ o } S_{DI}^O \rangle$ , или в виде логического выражения:  $S_{HI}^O = S_{SbI}^O \wedge S_{DI}^O$ .

Связь  $S_{DoI}^O$  «зависима\_от\_показателя» означает, что, если цель подразделяется на цель, которая напрямую оценивается показателем, то эта цель будет зависима от показателя (оценивающего цель на нижнем уровне) и состоит из цепочки связей  $S_{DbG}^O$  «подразделяется\_на\_цель» и  $S_{SbI}^O$  «оценивается\_показателем»; в owl-терминологии:  $S_{DoI}^O = \langle S_{DbG}^O \text{ o } S_{SbI}^O \rangle$ , или в виде логического выражения:  $S_{DoI}^O = S_{DbG}^O \wedge S_{SbI}^O$ .

Связь  $S_{DoDI}^O$  «зависима\_от\_индикатора» означает, что, если цель подразделяется на цель, которая напрямую оценивается показателем, который в свою очередь детализируется индикатором, то эта цель будет зависима от индикатора (детализирующего показатель на нижнем

уровне) и состоит из цепочки связей  $S_{DbG}^O$  «подразделяется\_на\_цель»,  $S_{Sbl}^O$  «оценивается\_показателем» и  $S_{Dil}^O$  «детализируется\_на\_индикатор»; в терминологии owl:  $S_{DoDI}^O = \langle S_{DbG}^O \circ S_{Sbl}^O \circ S_{Dil}^O \rangle$ , а также в виде логического выражения  $S_{DoDI}^O = S_{DbG}^O \wedge S_{Sbl}^O \wedge S_{Dil}^O$ .

Цепочки свойств этих связей представлены на рисунке 6.

### 2.1.3 Класс «Риски»

Родительский класс «Риски»  $S_R^C$  включает в себя дочерние классы  $\{S_{SR}^C, S_{TR}^C, S_{OR}^C\}$ , где:  $S_{SR}^C$  – стратегические риски, являющиеся рисками недостижения поставленных целей;  $S_{TR}^C$  – тактические риски, являющиеся рисками недостижения показателями определённых нормативных значений;  $S_{OR}^C$  – операционные риски, являющиеся рисками недостижения детализированными показателями определённых нормативных значений.

Множество рисков представляет собой либо наличие стратегического риска, либо тактического, либо операционного, т.е. наличие риска на любом из уровней управления является рискованной ситуацией для ГП:  $S_R^C = S_{SR}^C \vee S_{TR}^C \vee S_{OR}^C$ .

Граф построенной онтологии представлен на рисунке 7.

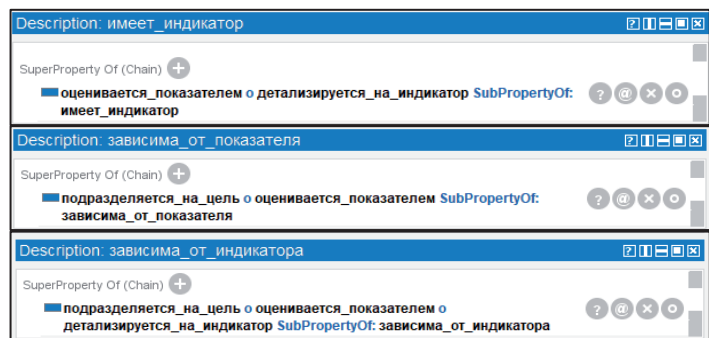


Рисунок 6 – Представление цепочек свойств составных связей

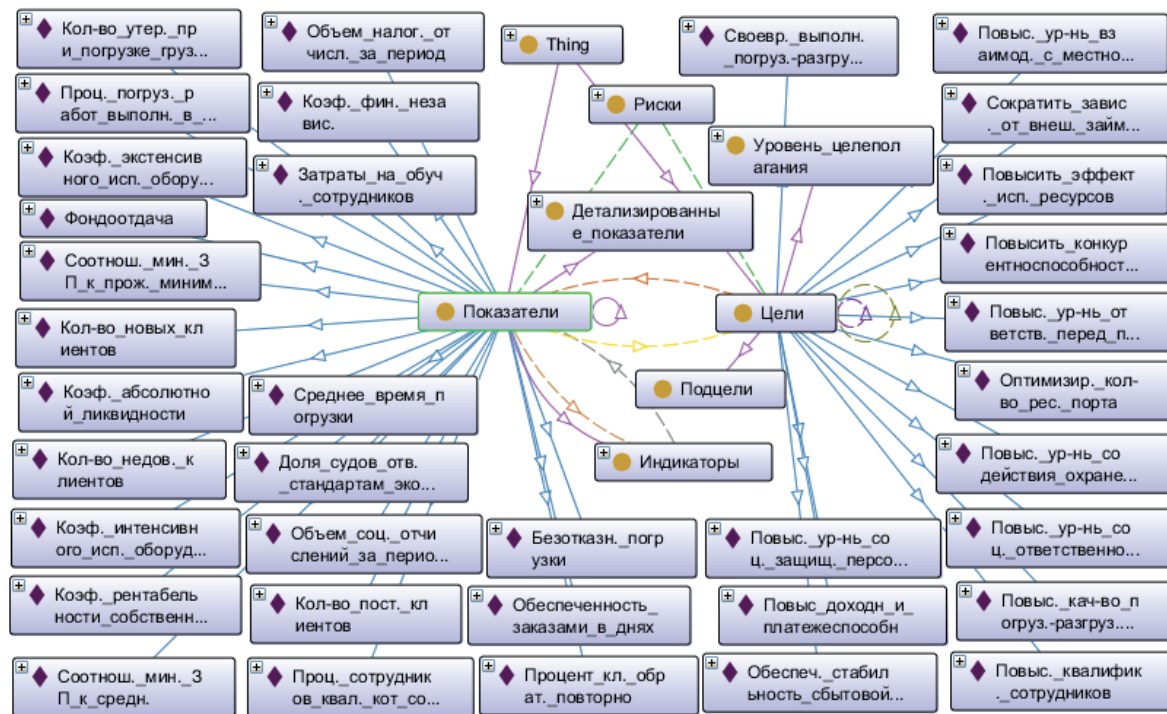


Рисунок 7 – Граф онтологической модели управления рисками грузового порта

Дочерние классы «Стратегические риски», «Тактические риски» и «Операционные риски» связаны соответственно с классами «Цели», «Показатели» и «Детализированные показатели» связью  $S_F^O$  – «недостижение». Справедливы следующие выражения:

$$S_{SR}^C = S_G^C \wedge S_F^O; S_{TR}^C = S_I^C \wedge S_F^O; S_{OR}^C = S_{DI}^C \wedge S_F^O.$$

Таким образом, связь множества (класса) рисков для ГП непосредственно с классами целей, показателей оценки и детализированных показателей реализуется следующим образом:

$$S_R^C = (S_G^C \wedge S_F^O) \vee (S_I^C \wedge S_F^O) \vee (S_{DI}^C \wedge S_F^O).$$

### 2.1.4 Объектные свойства и свойства данных ОМ

Все перечисленные объектные свойства ОМ представлены на рисунке 8 и описаны совокупностью  $S^O = \{S_{DbG}^O, S_{CIg}^O, S_{EG}^O, S_{Sbl}^O, S_{DI}^O, S_{DIH}^O, S_F^O, S_{HI}^O, S_{DoI}^O, S_{DoDI}^O\}$ .

Построенная онтология не позволяет производить расчёты с числами. Любые числа, внесённые в онтологию, будут являться статичной информацией с типом данных «число». Поэтому изменение параметров, входящих в расчёт каждого из выбранных показателей оценки (включая те, что составляют формулы расчёта), отображается посредством выбора значений «увеличивается», «уменьшается», «без изменения».

Приведённые элементы *Data properties* используются для описания свойств  $S^D$  экземпляров класса «Показатели». Основными составляющими данного множества являются следующие вложенные свойства-данные:  $S^D = \{S_{FI}^D, S_{FI}^D = \{S_{I}^D\}, S_{I}^D = \{S_{SI}^D\}$ , где  $S_{FI}^D$  представляет свойство данных «Формула показателя», включающее составные элементы (вспомогательные показатели)  $S_{SI}^D$ , входящие в формулу расчёта и оказывающие влияние на каждый конкретный показатель, соответствующий посредством свойства данных «Показатель»  $S_{I}^D$  одноимённому классу  $S_{CI}^C$ .

Например, свойство данных «общее количество осуществлённых работ» распространяется на элементы класса «Показатели», используется для расчёта показателя, соответствующего по наименованию свойству данных «Процент погрузочных работ, выполненных в срок», а также имеет стандартный тип свойства данных  $S^D$  «Строка» и принимает одно из значений «увеличивается», «уменьшается», «без изменения». Аналогично свойство данных «общее число клиентов» распространяется на элементы класса «Показатели», используется для расчёта показателя, соответствующего по наименованию свойству данных «Процент клиентов, обратившихся повторно», имеет стандартный тип свойства данных  $S^D$  «Строка» и принимает одно из значений «увеличивается», «уменьшается», «без изменения». Представление свойств данных показано на рисунке 9. Аналогичным образом определены все показатели онтологии.

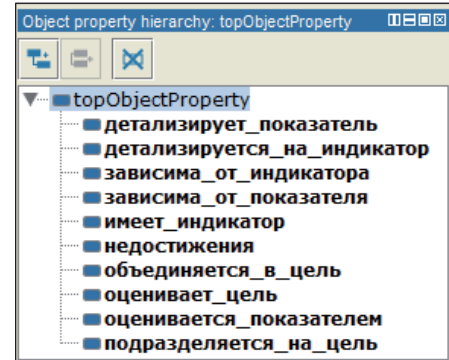


Рисунок 8 – Объектные свойства онтологической модели

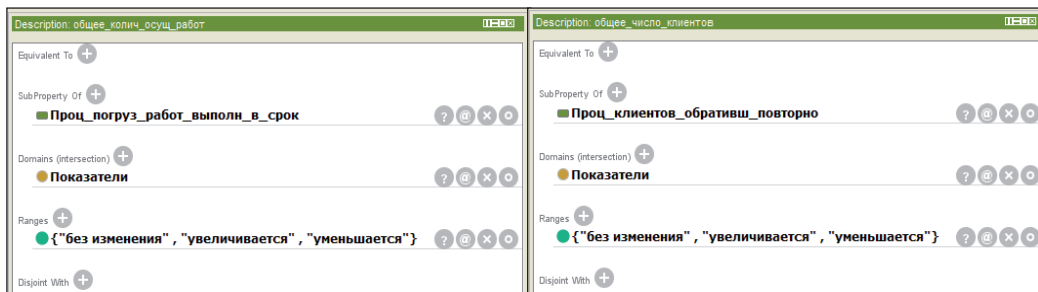


Рисунок 9 – Представление свойств данных «общее количество осуществлённых работ» и «общее количество клиентов»

Иерархия всех имеющихся элементов *Data Properties* представлена на рисунке 10.

### 2.1.5 Ограничения для элементов ОМ

ОМ управления рисками ГП  $O_{CPRM}$  включает в себя ограничения  $S^A$ , которые определяют связи между классами и экземплярами. Например, может быть установлено ограничение, гарантирующее, что каждая цель будет состоять из всех целей, находящихся на нижних уровнях, с которыми она связана. В построенной ОМ можно выделить следующие ограничения.

1. Одну цель может оценивать несколько показателей (отношение «один ко многим»):  $S_G^C \xrightarrow{S_{Sbl}^O} S_I^C$ .

2. Один показатель может оценивать несколько целей:  $S_I^C \xrightarrow{S_{EG}^O} S_G^C$ .

3. Одна цель может быть подразделена на несколько детализированных целей. Или цель может быть соотнесена с другой целью (включая подцель) отношением «один ко многим» для объектного свойства  $S_{DbG}^O$ :  $S_G^C \xrightarrow{S_{DbG}^O} S_{DG}^C$ .

4. Один индикатор может детализировать несколько показателей оценки достижения целей ГП, т.е. любой индикатор соотносится с показателем отношением «один ко многим» для объектного свойства  $S_{DI}^O$ :  $S_{DI}^C \xrightarrow{S_{DI}^O} S_I^C$ .

5. Любой показатель может быть детализирован только по одному из трёх представленных индикаторов детализации, т.е. любой показатель соотносится с индикатором детализации отношением «один к одному» для объектного свойства  $S_{DI}^O$ :

$S_{DI}^C \xrightarrow{S_{DI}^O} S_I^C$ . Это же высказывание

в логическом выражении для конкретного индикатора содержит строгую дизъюнкцию:  $S_I^C = (S_{DI}^O \wedge S_{ICT}^C) \otimes (S_{DI}^O \wedge S_{ITS}^C) \otimes (S_{DI}^O \wedge S_{ISS}^C)$ .

6. Каждый риск ГП может являться стратегическим, тактическим, либо операционным, т.е. отдельный экземпляр класса «Риски» может соотноситься только с одним из трёх вариантов:  $S_{Rf}^C = S_{SR}^C \otimes S_{TR}^C \otimes S_{OR}^C$ ,  $S_{Rf}^C = (S_G^C \wedge S_F^O) \otimes (S_I^C \wedge S_F^O) \otimes (S_{DI}^C \wedge S_F^O)$ , где  $S_{Rf}^C$  – экземпляр класса «Риски»,  $f = 1, 2, \dots, 82$  – идентификатор каждого из 82 рисков онтологии (14 стратегических рисков по количеству целей ГП, 22 тактических риска по количеству показателей и 46 операционных рисков по количеству детализированных показателей).

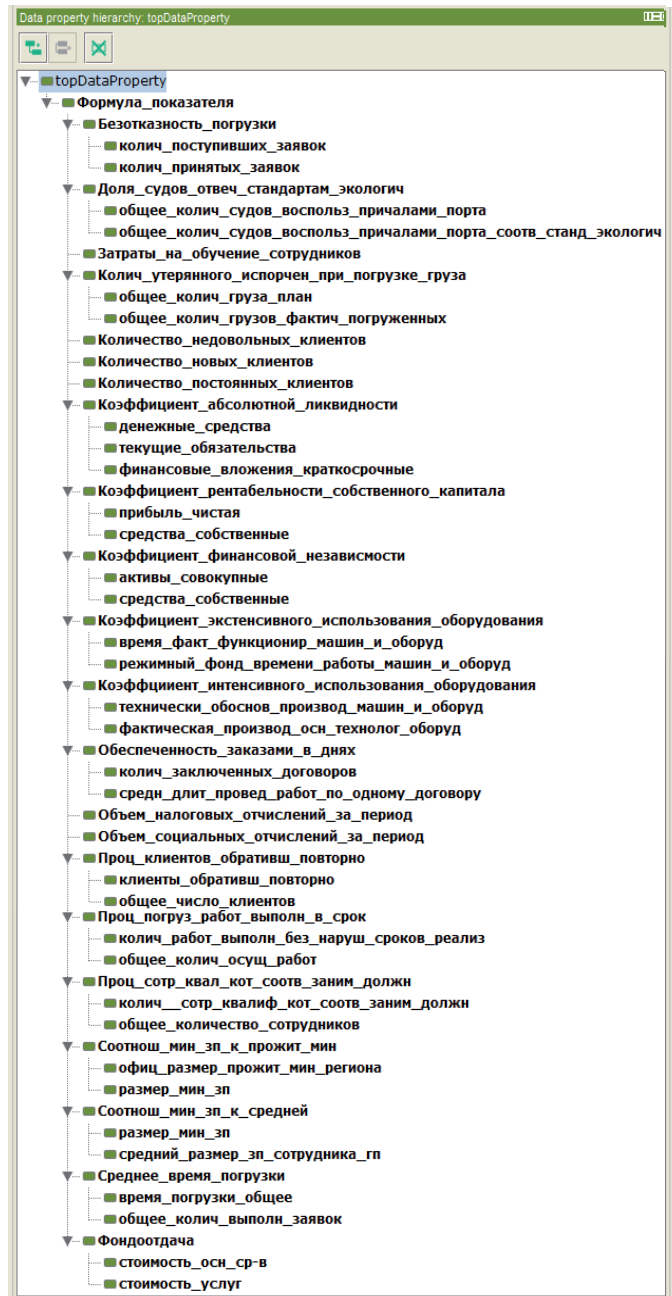


Рисунок 10 – Элементы *Data Properties*



7. Каждый стратегический риск представляет собой недостижение одной конкретной цели, т.е. любой стратегический риск может соотноситься с конкретной целью отношением «один к одному» для объектного свойства  $S_F^O$ :  $S_{SR}^C \xrightarrow{S_F^O} S_G^C$ .
8. Каждый тактический риск представляет собой недостижение одним конкретным показателем нормативного значения, т.е. любой тактический риск может соотноситься с конкретным показателем отношением «один к одному» для объектного свойства  $S_F^O$ :  $S_{TR}^C \xrightarrow{S_F^O} S_I^C$ .
9. Каждый операционный риск представляет собой недостижение одним конкретным детализированным показателем нормативного значения, т.е. любой операционный риск может соотноситься с конкретным детализированным показателем отношением «один к одному» для объектного свойства  $S_F^O$ :  $S_{OR}^C \xrightarrow{S_F^O} S_{DI}^C$ .
10. Цель, не являющаяся  $GN$ , т.е. любая подцель, может принадлежать только одному из четырёх уровней целеполагания:  $S_{DG}^C \xrightarrow{\quad} S_{LGS}^C$ . Логическое выражение описания экземпляра класса и связанное с ним ограничение имеют вид:
 
$$S_{DG_k}^C = (S_G^C \wedge S_{ILGS}^C) \otimes (S_G^C \wedge S_{2LGS}^C) \otimes (S_G^C \wedge S_{3LGS}^C) \otimes (S_G^C \wedge S_{4LGS}^C),$$
 где  $S_{DG_k}^C$  – экземпляр класса «Подцели», т.е. конкретная подцель,  $k = 1, 2, \dots, 13$  – идентификатор каждой из 13 детализированных целей (подцелей) онтологии.

### 3 Средства поддержки принятия решений по управлению рисками ГП

В разработанной ОМ учитываются и дублируются причинно-следственные связи между элементами многоуровневого целеполагания, особое внимание уделено процессу управления рисками. ОМ включает классы, отношения и ограничения, которые определяют предметную область, тем самым устанавливает единую терминологию для совместного использования в задаче «Управление рисками ГП». ОМ реализована в редакторе онтологий *Protégé*, использующем язык *OWL* (англ. *Web Ontology Language*) [13, 14].

Посредством запроса *Query (class expression)*, представленного на рисунке 11, можно выяснить, на какие цели может повлиять возможное к реализации решение «Увеличить затраты на обучение сотрудников тальманского отдела» [15].

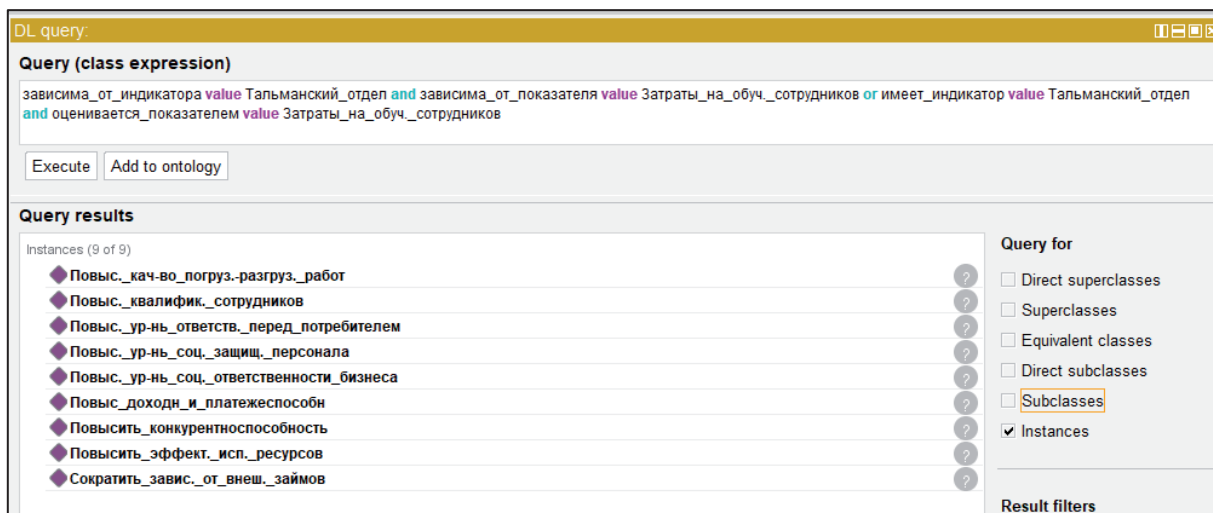


Рисунок 11 – Запрос *DL Query* и результат работы выборки

Первая часть запроса позволяет осуществить выборку по всем целям, зависимым от индикатора со значением «Тальманский отдел», и в то же время зависимым от показателя со значением «Затраты на обучение сотрудников». Вторая часть запроса обеспечивает отбор по всем целям, которые непосредственно могут быть оценены показателем «Затраты на обучение сотрудников» и имеют индикатор «Тальманский отдел». Обе части запроса объединяет логический оператор «ИЛИ». Таким образом, данный запрос позволяет отобрать все цели, которые были бы зависимы от параметров «Затраты на обучение сотрудников» и «Тальманский отдел». Каждый из представленных результатов имеет объяснение, на основе каких логических суждений этот результат попал в выборку. Например, объяснения для цели «Сократить зависимость от внешних результатов», предоставленные инструментом *Reasoner*, показаны на рисунке 12.

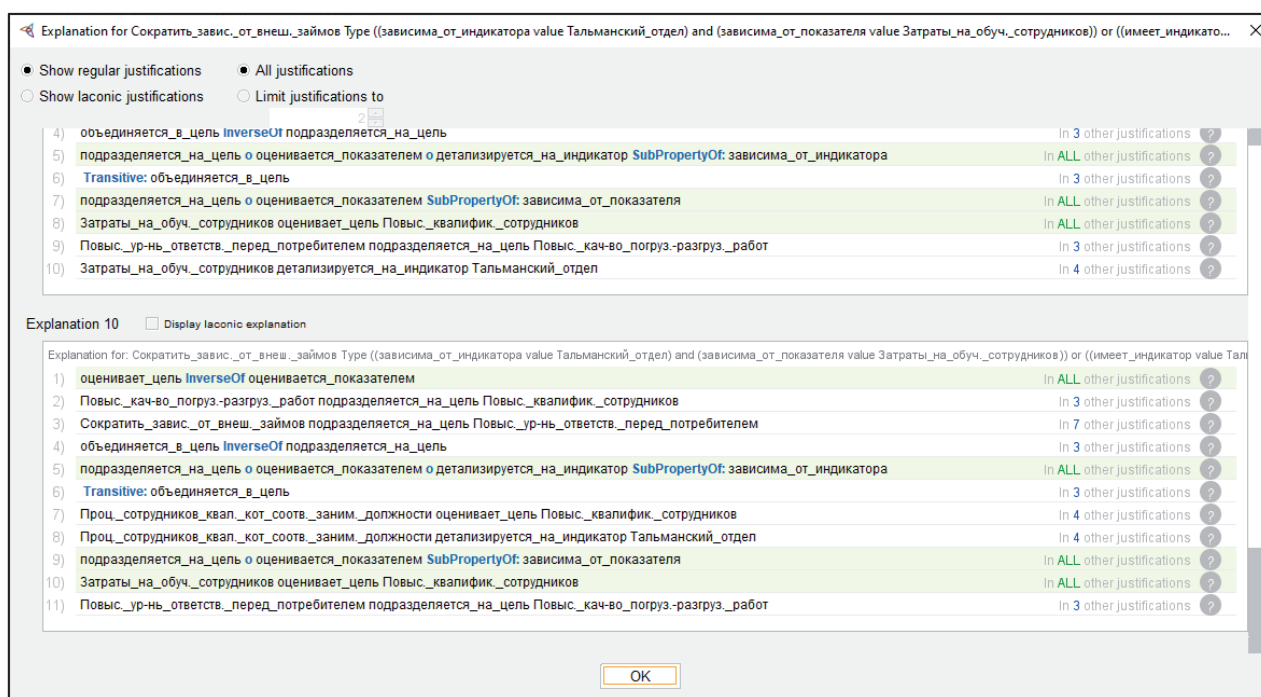


Рисунок 12 – Инструмент *Reasoner*. Объяснение полученного результата выборки

В случаях, когда не известно каким образом необходимо повлиять на тот или иной показатель, можно воспользоваться функцией «*SPARQL Query*» [16], которая позволяет делать запросы к *RDF* файлу. В данном случае *SPARQL Query* используется для выборки по показателям *Data properties*, показанным на рисунке 10, и их значениям.

Например, для того, чтобы узнать, какие цели зависят от показателей «Коэффициент абсолютной ликвидности» и «Коэффициент интенсивного использования оборудования» и что можно сделать с показателями расчёта коэффициентов, в *DL Query* делается выборка по нескольким показателям. Пример запроса в *DL Query* и его результат, представленные на рисунке 13, показывают, что *совместное* изменение этих двух коэффициентов повлияет на такие цели, как «Повысить доходность и платёжеспособность» и «Повысить конкурентоспособность».

С помощью *SPARQL Query* можно сделать запрос о значениях показателей (см. рисунок 14). В результате получено, что для увеличения показателя «Коэффициент интенсивного использования оборудования» необходимо сократить значение параметра «Технически обоснованная производительность машин и оборудования» и увеличить значение параметра «Фактическая производительность основного технологического оборудования».

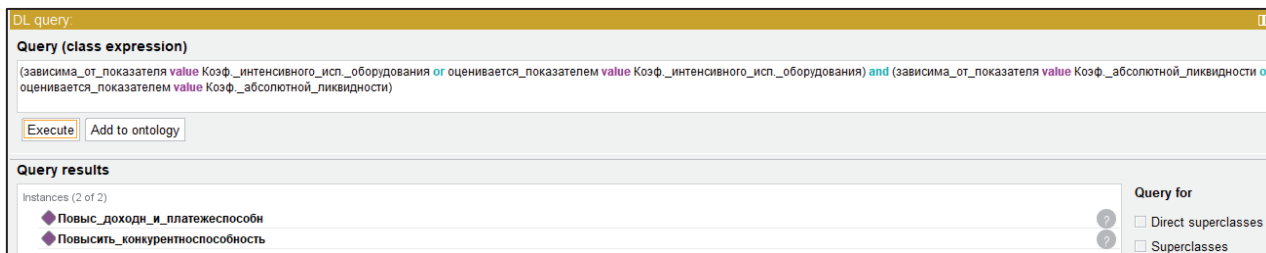


Рисунок 13 – Результат работы выборки

Аналогично был сформирован запрос о показателе «Коэффициент абсолютной ликвидности». Результат запроса позволил сделать вывод о том, что для того, чтобы «Коэффициент абсолютной ликвидности» увеличился, необходимо увеличить «Денежные средства» и «Финансовые краткосрочные вложения» и погасить «Текущие обязательства». Исходя из результатов запросов следует, что, увеличив, например, показатель «Фактическое производительность основного технологического оборудования ГП» и уменьшив «Текущие обязательства», можно повысить «Доходность и платежеспособность ГП», тем самым повлиять на *GN* компании – повышение конкурентоспособности.

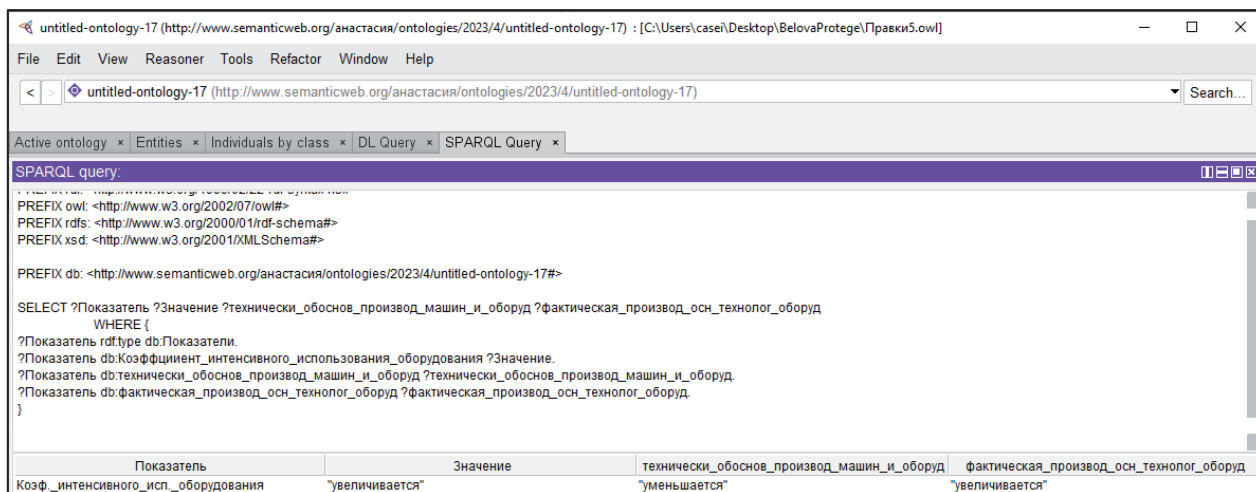


Рисунок 14 – Результат запроса в SPARQL Query

Для принятия решений по управлению рисками ГП ОМ позволяет получить конкретные рекомендации по корректировке значения показателя путём изменения значений индикаторов, детализирующих данный показатель, корректировки количества используемых ресурсов, осуществляющих бизнес-процесс в ГП и т.п.

## Заключение

В статье представлено описание взаимосвязей между элементами разработанной ОМ, в основе которой лежит многоуровневое целеполагание. Управление рисками ГП осуществляется с позиции рассмотрения в качестве рисков событий ситуации недостижения поставленных целей и недостижения показателями оценки деятельности ГП нормативных значений. Особое внимание уделено описанию входящих в состав ОМ концептов-классов, объектных свойств, свойств данных, связей, логическим ограничениям, а также технологии реализации запросов к ОМ. На основе запросов к разработанной риск-ориентированной ОМ можно осуществлять выборку возможных решений для выхода из прогнозируемых рисков ситуаций в соответствии с изменяющимися условиями функционирования ГП.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Управление корпоративными рисками и шансами. СПб., 2010. 125 с.
- [2] *Ho M.W., Ho (David) K.H.* Risk management in large physical infrastructure investments: the context of seaport infrastructure development and investment. *Maritime Econom. Log.*, 2006, no. 8 (2), p.140–168. DOI:10.1057/PALGRAVE.MEL.9100153.
- [3] *Пригожин А.И.* Цели и ценности: Новые методы работы с будущим: Философия и теория построения целей предпринимателей, организаций, социумов и новейшие методы поиска и формулирования целей разного масштаба. Руководителям. Консультантам. Коучам. Изд. 2, испр. и доп. URSS. 2023. 440 с.
- [4] *Чернышева К.С., Колетвинова Е.Ю.* Каскадирование целей в стратегическом управлении: опыт группы компаний Black Star // Вестник университета правительства Москвы. 2020. № 4 (50). С.36–40.
- [5] *Protalinsky O., Khanova A., Bondareva I., Averianova K., Khanova Y.* Cognitive Model of the Balanced Scorecard of Manufacturing Systems. Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT 2020. Studies in Systems, Decision and Control. Springer, Cham., 2021, vol. 337. DOI:10.1007/978-3-030-65283-8\_47.
- [6] *Solozhentsev E.* Logic and probabilistic risk models for management of innovations system of country. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2015, vol. 18, iss. 3–4, p.237–255. DOI:10.1504/IJRAM.2015.071211.
- [7] *Соложенцев Е.Д.* Технологии управления риском в структурно-сложных системах. СПб.: С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения, 2013. 435 с.
- [8] *Solozhentsev E., Karasev V.* Hybrid logical and probabilistic models for management of socioeconomic safety. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2018. Vol. 21, Issue 1-2: P.89-110. DOI:10.1504/IJRAM.2018.090258.
- [9] *Бондарева И.О.* Комплексный анализ рисков грузового порта на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т.24. № 4. С.91-106.
- [10] *Bondareva, I., Khanova, A.A.* Multi-level Management of Organizational Systems on the Basis of Risk Cascading, Logical-Probabilistic Modeling and Simulation. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 416. Springer, Cham. 2022. P. 157-166. DOI: 10.1007/978-3-030-95112-1\_13.
- [11] *Анисимов О.В., Коробко В.А., Догадов А.С., Зюзина А.Д.* Способ формирования дескриптивной модели процесса оперативного восстановления изделий ВВТ группировки ПВО на основе онтологий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т.12. № 3. С.30-46. DOI: 10.36724/2409-5419-2020-12-3-30-46.
- [12] *Uschold M., Gruninger M.* Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review*, 1996. 11(2), P.93-136.
- [13] *Noy N.F., McGuinness D.L.* Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Technical Report. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001. 25 p.
- [14] *Муромцев Д.И.* Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé. СПб: Изд-во СПб ГУ ИТМО, 2007. 62 с.
- [15] *Ланшин В.А.* Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. 222 с.
- [16] *Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Concho O.* Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer-Verlag London Limited, 2004. 404 p.

## Сведения об авторе

*Бондарева Ирина Олеговна*, 1984 г. рождения. Окончила Астраханский государственный технический университет в 2007 г., к.т.н. (2010). Заведующая кафедрой «Прикладная информатика», доцент кафедры «Прикладная информатика» Астраханского государственного технического университета. В списке научных трудов более 70 работ в области компьютерного моделирования и поддержки принятия решений по управлению организационными системами. Author ID (РИНЦ): 763592; Author ID (Scopus): 57220203960. *i.o.bondareva@mail.ru*.



Поступила в редакцию 26.12.2023, после рецензирования 10.01.2024. Принята к публикации 2.02.2024.



## Logical ontological modeling of cargo port risk management

© 2024, I.O. Bondareva

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

### Abstract

Enterprises in any field, including those in the transport and logistics sector, are faced with the need to gain a competitive advantage through the use of innovative management methods. These include the integrated use of methods for managing organizational systems along with the use of advanced tools and technologies. Particular attention is paid to risk management in order to prevent undesirable situations. This paper is the first to present a description of a logical ontological model for the integrated application of multi-level goal setting based on a balanced scorecard (BSC) and logical probabilistic (LP) modeling to support decision-making on cargo port risk management. Situations of failure to achieve the goals of the cargo port, including failure to achieve standard values of indicators, are considered as risks. The integrated use of BSC and LP modeling technologies made it possible to build a general concept of multi-level goal setting. Its main advantage lies in the detailed elaboration of the company's goals, which are subordinated to the main strategic goal. This makes it possible to influence operational events and obtain positive results in tactical and strategic plans. The ontological model contains all the information about the components interaction that influence the risk events and makes it possible to select options for exiting a risk situation in accordance with specified conditions. The results of queries to a risk-oriented ontological model are options for management decisions aimed at reducing risks in the operation of a cargo port.

**Keywords:** logical ontological modeling, risk management, balanced scorecard, multi-level goal setting, decision making, cargo port.

**For citation:** Bondareva IO. Logical ontological modeling of cargo port risk management [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2024;14(1): 119-133. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-1-119-133.

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

### List of figures

- Figure 1 – Hierarchical structure of ontological model classes
- Figure 2 – Instances of the “Goals” and “Indicators” classes
- Figure 3 – Tree of the cargo port objectives
- Figure 4 – Logical conclusions of the Reasoner tool (relationship of the strategic goal with all the detailing ones)
- Figure 5 – Subclasses and instances of the “Indicators” class
- Figure 6 – Representation of compound link property chains
- Figure 7 – Graph of the ontological model of cargo port risk management
- Figure 8 – Object properties of the ontological model
- Figure 9 – Data property view of the “total number of completed works” and “total number of clients”
- Figure 10 – Data properties elements
- Figure 11 – DL Query and the result of the selection
- Figure 12 – Reasoner tool. Explanation of the resulting sample result
- Figure 13 – Result of sampling
- Figure 14 – Query result in SPARQL Query

### References

- [1] Nedosekin AO, Abdulaeva ZI. Management of corporate risks and chances: training course [In Russian]. St. Petersburg, 2010. 125 p.
- [2] Ho MW, Ho (David) KH. Risk management in large physical infrastructure investments: the context of seaport infrastructure development and investment. *Maritime Econom. Log.*, 2006; 8(2): 140–168. DOI:10.1057/palgrave.mel.9100153.

- [3] **Prigozhin AI**. Goals and values: New methods of working with the future: Philosophy and theory of building goals for entrepreneurs, organizations, societies and the latest methods of searching and formulating goals of different scales. To managers. Consultants. For coaches. Ed. 2, rev. and additional URSS. 2023. 440 p.
- [4] **Chernysheva KS, Koletvinova EYu**. Cascading goals in strategic management: the experience of the Black Star group of companies [In Russian]. *Bulletin of the Moscow Government University*. 2020; 4(50): 36–40.
- [5] **Protalinsky O, Khanova A., Bondareva I, Averianova K, Khanova Y**. Cognitive Model of the Balanced Scorecard of Manufacturing Systems. Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT 2020. Studies in Systems, Decision and Control. Springer, Cham., 2021, vol. 337. DOI:10.1007/978-3-030-65283-8\_47.
- [6] **Solozhentsev E**. Logic and probabilistic risk models for management of innovations system of country. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2015, vol. 18, iss. 3–4, pp. 237–255. DOI:10.1504/IJRAM.2015.071211.
- [7] **Solozhentsev ED**. Risk management technologies in structurally complex systems: textbook [In Russian]. St. Petersburg: GUAP, 2013. 435 p.
- [8] **Solozhentsev E, Karasev V**. Hybrid logical and probabilistic models for management of socioeconomic safety. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2018; 21(1-2): 89-110. DOI:10.1504/IJRAM.2018.090258.
- [9] **Bondareva IO**. Comprehensive risk analysis of a cargo port based on logical probabilistic and simulation modeling [In Russian]. In: News of the South-West State University. 2020; 24(4): 91-106.
- [10] **Bondareva, I., Khanova, A.A.** Multi-level Management of Organizational Systems on the Basis of Risk Cascading, Logical Probabilistic Modeling and Simulation. Studies in Systems, Decision and Control, vol 416. Springer, Cham. 2022. P. 157-166. DOI: 10.1007/978-3-030-95112-13
- [11] **Anisimov OV, Korobko VA, Dogadov AS, Zyuzina AD**. A method for forming a descriptive model of the process of operational restoration of weapons and military equipment of an air defense group based on ontologies [In Russian]. In: Science-intensive technologies in space research of the Earth. 2020; 12(3): 30-46. DOI:10.36724/2409-5419-2020-12-3-30-46.
- [12] **Uschold M, Gruninger M**. Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review*, 1996; 11(2): 93-136.
- [13] **Noy NF, McGuinness DL**. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Technical Report. Stanford Knowledge Systems Laboratory, 2001. 25p.
- [14] **Muromtsev DI**. Ontological knowledge engineering in the Protégé system [In Russian]. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg State University of ITMO, 2007. 62 p.
- [15] **Lapshin VA**. Ontologies in computer systems [In Russian]. M.: Scientific world, 2010. 222 p.
- [16] **Gomez-Perez A, Fernandez-Lopez M, Concho O**. Ontological engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer-Verlag London Limited, 2004. 404 p.

## About the author

**Irina Olegovna Bondareva** (b. 1984) graduated from the Astrakhan State Technical University in 2007, PhD (2010). She is the Head of the Department of Applied Informatics and an Associate Professor of the Department of Applied Informatics at the Astrakhan State Technical University. The list of scientific papers includes more than 70 works in the field of computer modeling and decision support for managing organizational systems. Author ID (RSCI): 763592; Author ID (Scopus): 57220203960. [i.o.bondareva@mail.ru](mailto:i.o.bondareva@mail.ru).

Received December 26, 2023. Revised January 10, 2024. Accepted February 2, 2024.



## Подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечётких правил

© 2024, А.Е. Колоденкова ✉, С.С. Верещагина, Е.А. Фаворская, Е.А. Осипова

Самарский государственный технический университет (СамГТУ), Самара, Россия

### Аннотация

Для обеспечения бесперебойной работы электроэнергетических систем необходимо периодически проводить диагностирование электрооборудования с использованием методов и моделей, учитывающих параметры и факторы, влияющие на его состояние. В работе рассмотрен подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечётких правил с учётом разнотипной информации (измерительной, экспертной). Новизной подхода является представление параметров в виде нечётких треугольных чисел и формирование векторов весов важности значений терм-множеств параметров. Это позволяет: оценить техническое состояние электрооборудования в условиях разнотипной информации для прогнозирования состояния оборудования; быстро выявить параметры, значения которых вышли за допустимые пределы, тем самым определить предварительную причину выхода оборудования из строя, а также принять обоснованные диагностические решения относительно состояния электрооборудования.

**Ключевые слова:** электрооборудование, оценка, техническое состояние, нечёткие правила, вес важности, терм-множество, параметры.

**Цитирование:** Колоденкова А.Е., Верещагина С.С., Фаворская Е.А., Осипова Е.А. Подход к оценке технического состояния электрооборудования с использованием взвешенных нечётких правил // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №1(51). С.134-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-134-144.

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-29-00415.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Современное промышленное электрооборудование (ЭО) отличается большим количеством разнотипных устройств и систем. Основными причинами сбоев и выходов оборудования из строя являются: качество выпускаемой продукции, износ из-за работы на нештатных режимах, нарушения технологических процессов, повреждения оборудования, которые могут привести к возникновению пожара, а также к другим аварийным ситуациям на предприятии [1-3].

Результаты анализа выхода из строя ЭО, например, в нефтедобывающей промышленности за 2020–2022 гг. показали, что большая часть оборудования вышла из строя из-за погодных явлений, внешних сетей (качество электрической энергии) и собственных сетей (аварийное отключение, ремонт, перевод питания и т.д.) [4]. Это свидетельствует о том, что необходимо проводить регулярную оценку состояния ЭО, для которой требуется использование большого количества информации, имеющей значительную степень неопределённости. Плохо формализуемый характер задачи оценивания технического состояния (ТС) ЭО связан с неполнотой исходной информации, полученной во время эксплуатации, со сложностью оборудования и систем, а также с необходимостью применения экспертной информации, что приводит к ограничению возможности применения традиционных математических

методов [5, 6]. Поэтому для совершенствования информационной поддержки принятия решений при диагностировании промышленного ЭО в условиях разнотипной информации целесообразно использовать методы, позволяющие учитывать не только количественную, но и качественную исходную информацию.

Целью настоящей статьи является разработка подхода к оценке ТС ЭО с использованием взвешенных нечётких правил, которые позволяют гибко описывать ТС ЭО и учитывать нечёткий характер задачи.

## 1 Обобщённая схема оценки ТС ЭО

В основе предлагаемого подхода лежит использование обобщённой схемы оценки ТС ЭО, представленной на рисунке 1 в нотации *IDEF0*. Из рисунка 1 видно, что этапы оценки ТС ЭО включают выполнение функций от А1 до А5.



Рисунок 1 – Обобщённая схема оценки технического состояния электрооборудование в нотации *IDEF0*

### 1.1 Представление параметров в виде нечётких треугольных чисел (НТЧ)

Функция А1 позволяет текущие чёткие значения параметров ЭО, поступающие с приборов, представить в виде НТЧ с использованием алгоритма построения НТЧ. Необходимость представления текущих чётких значений параметров в НТЧ обусловлена тем, что любые данные, поступающие с приборов при диагностировании, являются неточными. Это связано: с нарушениями технологии проведения диагностирования; с погрешностью приборов, которые должны проходить регулярные поверки; с фильтрацией «шумов», когда измеренные значения параметров могут отличаться от их действительных значений. Использование НТЧ позволяет формализовать границы возможных изменений значений параметров.

На рисунке 2 представлен алгоритм построения НТЧ, состоящий из десяти шагов.

**Шаг 1.** Выбор параметра ЭО  $x_g$  из множества параметров ( $x_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_g, \dots, x_h\}$ ,  $i = 1, h$ ,  $h$  – количество параметров), каждый из которых в определённый момент наблюдения определяется его значением.



**Шаг 2.** Выбор значения параметра  $x_{mg}$  (текущее) в определённый момент наблюдения ( $x_{mg}$  – результат  $m$ -го наблюдения по  $g$ -му параметру,  $l = 1, 2, \dots, m, \dots, t, t$  – упорядоченное по возрастанию значений параметра количество наблюдений).

**Шаг 3.** Если есть предыдущее значение параметра  $x_{(m-1)g}$ , то переход к шагу 4, иначе переход к шагу 2.

**Шаг 4.** Вычисление левой границы параметра  $x_{mg}$ ,  $x_{mg1}^* = \frac{x_{(m-1)g} + x_{mg}}{2}$ .

**Шаг 5.** Если есть следующее значение параметра  $x_{(m+1)g}$ , то переход к шагу 6, иначе переход к шагу 2.

**Шаг 6.** Вычисление правой границы параметра  $x_{mg}$ ,  $x_{mg3}^* = \frac{x_{mg} + x_{(m+1)g}}{2}$ . В результате расчётов значение параметра  $x_{mg}$  представлено в виде НТЧ:

$x_{mg} = [x_{mg1}^*, x_{mg2}^*, x_{mg3}^*]$ , где  $x_{mg1}^*, x_{mg2}^*, x_{mg3}^*$  – минимальное, текущее и максимальное значения параметра  $x_{mg}$ .

**Шаг 7.** Если для всех значений параметра  $x_g$  определены границы, то переход к шагу 8, иначе переход к шагу 9.

**Шаг 8.** Если по всем параметрам  $x_h$  определены границы значений НТЧ, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 1.

**Шаг 9.** Переход к следующему значению параметра  $x_{(m+1)g}$ .

**Шаг 10.** Переход к формированию векторов весов важности значений терм-множеств параметров (ТМП).

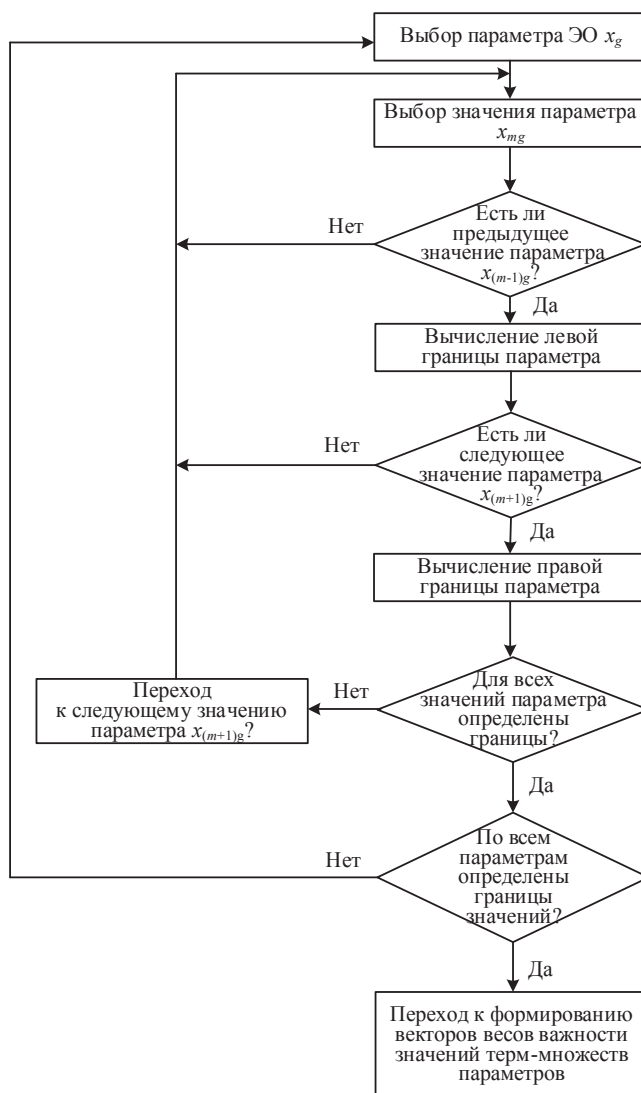


Рисунок 2 – Алгоритм построения нечёткого треугольного числа

## 1.2 Формирование векторов весов важности значений ТМП

Функция А2 позволяет сформировать векторы весов важности значений ТМП. Учитывая многофакторность диагностирования ЭО в условиях разнотипной информации, а также необходимость обработки большого числа экспериментальных данных, необходимо применить принцип разделения (классификации) по степени важности параметров, влияющих на состояние ЭО. Это необходимо для получения более полной картины о состоянии ЭО с тем, чтобы предупредить выход оборудования из строя.

Традиционно при диагностировании ЭО оперативный персонал на основе своего опыта и знаний определяет параметры, оказывающие существенное влияние на работоспособность оборудования, при этом отбрасывая несущественные параметры. Однако на разные типы ЭО параметры влияют по-разному, например, асинхронные электродвигатели без частотного ре-

гулирования очень чувствительны к колебаниям напряжения; в то же время на синхронные двигатели колебания напряжения не оказывают существенного влияния.

Алгоритм формирования векторов весов важности значений ТМП показан на рисунке 3.

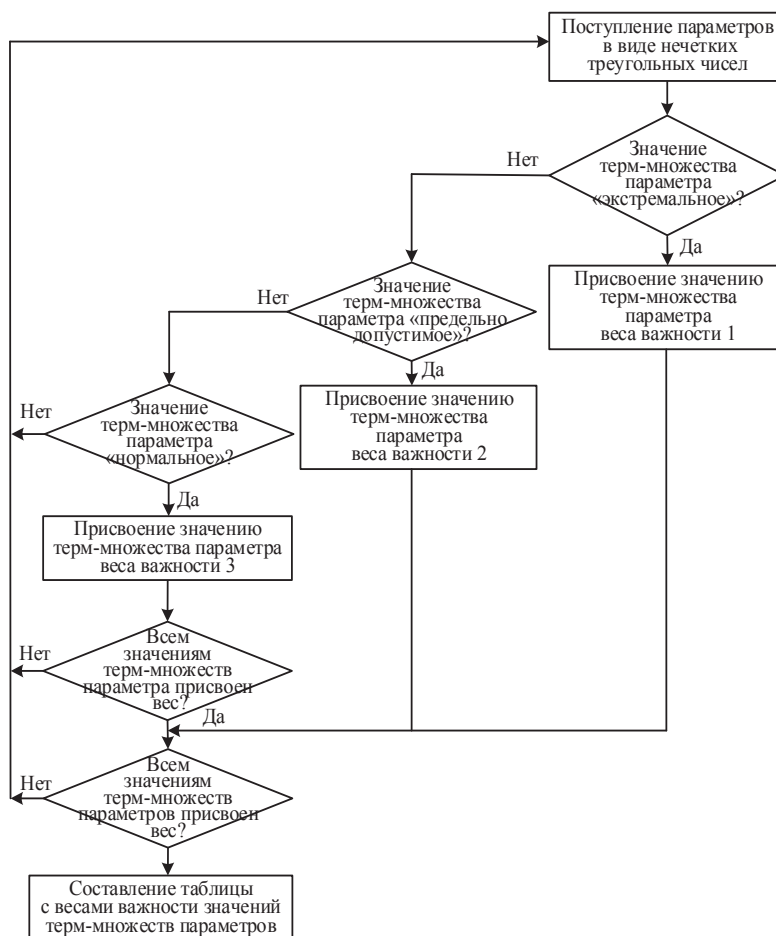


Рисунок 3 – Алгоритм формирования векторов весов важности значений терм-множеств параметров

**Шаг 1.** Поступление параметров, представленных в виде НТЧ для всех наблюдений  $x_{th} = [x_{th1}^*, x_{th2}^*, x_{th3}^*]$ .

**Шаг 2.** Если значение ТМП «экстремальное», то переход к шагу 3, иначе - к шагу 4.

**Шаг 3.** Присвоение значению ТМП веса важности  $w_{th} = 1$ .

**Шаг 4.** Если значение ТМП «предельно-допустимое», то переход к шагу 5, иначе переход к шагу 6.

**Шаг 5.** Присвоение значению ТМП веса важности  $w_{th} = 2$ .

**Шаг 6.** Если значение ТМП «нормальное», то переход к шагу 7, иначе переход к шагу 1.

**Шаг 7.** Присвоение значению ТМП веса важности  $w_{th} = 3$ .

**Шаг 8.** Если всем значениям ТМП присвоены веса важности, то переход к шагу 9, иначе переход к шагу 1.

**Шаг 9.** Если всем значениям ТМП присвоены веса важности, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 1.

**Шаг 10.** Составление таблицы с весами важности значений ТМП.

Фрагмент таблицы оценивания значений ТМП ЭО представлена в таблице 1.

Используя нормативную документацию (ГОСТ [7], методические рекомендации и др.) определяются отклонения значений параметров, которые участвуют в диагностировании ЭО.

Таблица 1 – Оценка значений терм-множеств параметров ЭО

№ п/п	Обозначение параметра	Наименование параметра (лингвистическая переменная)	Нечёткие треугольные числа (носитель)	Терм-множество
1	$x_1$	Напряжения по фазе $C$ , $U_C$	[0, 160, 197]	экстремальное
			[198, 204, 208]	предельно допустимое
			[209, 220, 231]	нормальное
			[232, 236, 241]	предельно допустимое
			[242, 271, 300]	экстремальное
2	$x_2$	Напряжения по фазе $A$ , $U_A$	[0, 160, 197]	экстремальное
			[198, 204, 208]	предельно допустимое
			[209, 220, 231]	нормальное
			[232, 236, 241]	предельно допустимое
			[242, 271, 300]	экстремальное
3	$x_3$	Напряжения по фазе $B$ , $U_B$	[0, 160, 197]	экстремальное
			[198, 204, 208]	предельно допустимое
			[209, 220, 231]	нормальное
			[232, 236, 241]	предельно допустимое
			[242, 271, 300]	экстремальное
4	$x_4$	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, $K_U$	[0, 4, 8]	нормальное
			[8,1, 10, 12]	предельно допустимое
			[12,1, 31, 50]	экстремальное
5	$x_5$	Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, $K_{0U}$	[0, 1, 2]	нормальное
			[2,1, 3, 4]	предельно допустимое
			[4,1, 5, 6]	экстремальное
6	$x_6$	Грозовые импульсные напряжения, $U_{имп}$	[0, 3, 7]	нормальное
			[7,1, 8, 10]	предельно допустимое
			[10,1, 30, 50]	экстремальное

В таблице 1 рассматриваются следующие ТМП:

- *нормальные* – значения параметров, входящие в данный интервал, находятся в норме;
- *предельно допустимые* – значения параметров оказывают умеренное влияние на работоспособность оборудования, которое может выражаться в небольших перебоих в работе или снижениях коэффициента полезного действия;
- *экстремальные* – значения параметров оказывают сильное влияние на работоспособность оборудования, которое может привести к быстрому износу или его выходу из строя.

Данный алгоритм позволяет осуществлять обработку и анализ значений параметров по всем наблюдениям.

Для оценки важности значений ТМП разработана классификация на основе проведения сбора и анализа знаний оперативного персонала в области диагностирования ЭО (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка значения терм-множества параметра

Терм-множество	Численное значение
Экстремальное	0,6
Предельно-допустимое	0,3
Нормальное	0,1

### 1.3 Построение взвешенных нечётких правил

Функция АЗ позволяет построить оперативному персоналу на основе таблицы 1 взвешенные нечёткие правила. Для составления взвешенных нечётких правил выбираются только «экстремальные» и «предельно допустимые» ТМП, т.к. при ТМП «нормальное» оборудо-

вание работает в штатном режиме. Если при формировании НТЧ хотя бы одно значение будет входить в «предельно допустимые» или «экстремальные» ТМП, то они также будут рассматриваться как причина, которая может привести к перебоям в работе оборудования.

Взвешенные нечёткие правила с использованием весов важности значений ТМП имеют вид:  $rule_d$  : ЕСЛИ  $x_1 = \tilde{A}_{d1}(w_{d1})$  И  $x_2 = \tilde{A}_{d2}(w_{d2})$  И...  $x_h = \tilde{A}_{dh}(w_{dh})$ , ТО  $y = B_{dv}$ , (1)

где  $x_i$  – элементы, в качестве которых выступают параметры оборудования,  $i = \overline{1;h}$ ,  $\tilde{A}_i = [x_{i1}^*, x_{i2}^*, x_{i3}^*]$  – нечёткое значение параметров, представленное в виде НТЧ,  $B$  – нечёткое значение результата, которое  $w = w_{d1}, w_{d2}, \dots, w_{dh}$  – веса важности значений ТМП при оценивании состояния ЭО,  $d$  – количество взвешенных нечётких правил.

После построения взвешенных нечётких правил осуществляется проверка нечётких правил на наличие ошибок (избыточность, противоречивость, неполнота, цикличность) [8]. Ошибки могут привести к получению неправильных решений относительно ТС ЭО.

### 1.4 Оценка ТС ЭО

Функция А4 позволяет оценить ТС ЭО на основе взвешенных нечётких правил с учётом важности ТМП. Для оценивания ТС ЭО можно воспользоваться процедурой, представленной на рисунке 4.

На первом этапе формируется матрица решений на основе параметров, представленных в виде НТЧ

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1h} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{d1} & x_{d2} & \dots & x_{dh} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $x_{ij}$  – интервал НТЧ  $i$ -го параметра  $k$ -го взвешенного нечёткого правила,  $i = \overline{1;d}$ ,  $j = \overline{1;h}$ .

В контексте рассматриваемой задачи  $\tilde{A}_i$  для наглядности  $x_{ij} = [x_{ij1}, x_{ij2}, x_{ij3}]$  обозначается как  $x_{ij}$ .

На втором этапе осуществляется нормирование матрицы (2)

$$X^H = \begin{bmatrix} x_{11}^H & x_{12}^H & \dots & x_{1h}^H \\ x_{21}^H & x_{22}^H & \dots & x_{2h}^H \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{d1}^H & x_{d2}^H & \dots & x_{dh}^H \end{bmatrix}, \quad 0 < x_{ij}^H < 1, \quad (3)$$

где  $x_{ij}^H$  – нормированный интервал (НТЧ)  $i$ -го

параметра  $k$ -го взвешенного нечёткого правила,  $x_{ij}^H = \left[ \frac{x_{ij1}}{x_i^{\max}}, \frac{x_{ij2}}{x_i^{\max}}, \frac{x_{ij3}}{x_i^{\max}} \right]$ ,  $x_i^{\max} = \max_{1 \leq j \leq d} \{x_{ij1}\}$ .

Необходимость нормализации матрицы  $X$  обусловлена тем, что значения параметров, представленных в виде НТЧ, отличаются единицами измерения и порядком величин.

На третьем этапе осуществляется формирование взвешенной нормированной матрицы решений



Рисунок 4 – Этапы оценивания технического состояния электрооборудования

$$X^{*h} = \begin{bmatrix} x_{11}^{*h} & x_{12}^{*h} & \dots & x_{1h}^{*h} \\ x_{21}^{*h} & x_{22}^{*h} & \dots & x_{2h}^{*h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{d1}^{*h} & x_{d1}^{*h} & \dots & x_{dh}^{*h} \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1;h}, \quad j = \overline{1;d},$$

где  $X^{*h} = (x_{ij1}^{*h}, x_{ij2}^{*h}, x_{ij3}^{*h})_{d \times h}$ ,  $[x_{ij1}^{*h}, x_{ij2}^{*h}, x_{ij3}^{*h}] = [x_{ij1}, x_{ij2}, x_{ij3}] \cdot w_i$ ,  $w_i$  – вес важности ТМП,  $w_i \in [0, 1]$ .

Далее шаги 4-6 осуществляются с использованием метода *TOPSIS*<sup>1</sup> [9-11].

На четвёртом этапе определяются идеальные и наихудшие решения  $Z^+$ ,  $Z^-$ .

На пятом этапе осуществляется расчёт значений интуитивной близости  $s_i^+$  к идеальному решению  $Z^+$  и близости  $s_i^-$  наихудшему решению  $Z^-$  для каждого взвешенного нечёткого правила с применением метрик сходства (например, Евклидова метрика).

На шестом этапе осуществляется расчёт коэффициента относительного сходства для каждого взвешенного нечёткого правила

$$L_j = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-}, \quad 0 \leq L_j \leq 1.$$

На седьмом этапе осуществляется ранжирование взвешенных нечётких правил. Взвешенное нечёткое правило, имеющее высокий коэффициент сходства  $L_j$ , получает ранг 1, далее 2 и т.д. (правила упорядочиваются по возрастанию их рангов  $\text{Ранг}_1 \geq \text{Ранг}_2 \geq \dots \geq \text{Ранг}_j$ ).

## 1.5 Принятие диагностических решений

Функция А5 позволяет определять наиболее важные правила, описывающие состояния оборудования, отличающиеся от работы в нормальном режиме.

Взвешенное нечёткое правило, имеющее большой ранг 1, 2 и т.д., указывает на то, что необходимо обратить особое внимание на параметры, которые входят в эти правила и изменения которых могут привести к неисправности либо к выходу из строя ЭО.

## 2 Реализация подхода на примере асинхронного электродвигателя

Оценка ТС осуществлена для асинхронного электродвигателя серии ВАО5К-450, 560. Выбрано три параметра:  $x_1$  – напряжения по фазе С,  $x_2$  – напряжения по фазе А,  $x_5$  – коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности (см. таблицу 1). Известны значения второго наблюдения параметров:  $x_1 = 233$ ,  $x_2 = 233$ ,  $x_5 = 0,15$ . Применяя алгоритм построения НТЧ, получены следующие значения:  $x_1 = [232, 233, 234]$ ,  $x_2 = [231, 233, 234]$ ,  $x_5 = [0,1, 0,15, 0,2]$ , которые сравнивались с НТЧ (см. таблицу 1). При этом рассматривались максимальные значения (правые границы) параметров. Каждому значению ТМП назначен вес важности:  $x_1$  ( $w_1 = 0,3$ ),  $x_2$  ( $w_2 = 0,3$ ),  $x_5$  ( $w_3 = 0,1$ ).

Аналогичные действия выполнялись и для других наблюдений параметров.

В качестве примера представлен фрагмент взвешенных нечётких правил:

$R_1$  : ЕСЛИ  $x_1 = [232, 233, 234]$  (0,3) И  $x_2 = [231, 233, 234]$  (0,3) И  $x_5 = [0,1, 0,15, 0,2]$  (0,1)

ТО  $y =$  удовлетв. состояние;

$R_2$  : ЕСЛИ  $x_1 = [229, 230, 231]$  (0,1) И  $x_2 = [231, 232, 233]$  (0,3) И  $x_5 = [1,65, 1,7, 1,74]$  (0,1)

ТО  $y =$  хорошее состояние;

<sup>1</sup> The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) - метод определения порядка предпочтения по сходству с идеальным решением - <https://en.wikipedia.org/wiki/TOPSIS>.

$R_3$  : ЕСЛИ  $x_1 = [237, 242, 243](0,3)$  И  $x_2 = [223, 225, 226](0,1)$  И  $x_3 = [1,8, 2,1, 2,15](0,3)$

ТО  $y =$  удовлетв.состояние;

$R_4$  : ЕСЛИ  $x_1 = [242, 244, 245](0,6)$  И  $x_2 = [230, 231, 232](0,1)$  И  $x_3 = [2,27, 2,3, 2,31](0,3)$

ТО  $y =$  плохое состояние; ...

На основе взвешенных нечётких правил сформирована матрица решений

$$X = \begin{pmatrix} [232, 233, 234] & [231, 233, 234] & [0,1, 0,15, 0,2] \\ [229, 230, 231] & [231, 232, 233] & [1,65, 1,7, 1,74] \\ [237, 242, 243] & [223, 225, 226] & [1,8, 2,1, 2,15] \\ [242, 244, 245] & [230, 231, 232] & [2,27, 2,3, 2,31] \end{pmatrix}.$$

Далее осуществлено нормирование матрицы  $X$ :

$$X^n = \begin{pmatrix} [0,95, 0,95, 0,96] & [0,99, 0,99, 1] & [0,04, 0,06, 0,09] \\ [0,93, 0,94, 0,94] & [0,99, 0,99, 0,99] & [0,71, 0,74, 0,75] \\ [0,97, 0,99, 0,99] & [0,95, 0,96, 0,97] & [0,78, 0,91, 0,93] \\ [0,99, 0,99, 1] & [0,98, 0,99, 0,99] & [0,98, 0,99, 1] \end{pmatrix}, x_1^{\max} = 244, x_2^{\max} = 232, x_3^{\max} = 2,3.$$

На основе матрицы (4) и весов важности ТМП  $w_i$  сформирована взвешенная нормированная матрица

$$X^{*н} = \begin{pmatrix} [0,285, 0,285, 0,288] & [0,297, 0,297, 0,3] & [0,004, 0,006, 0,009] \\ [0,093, 0,094, 0,094] & [0,297, 0,297, 0,297] & [0,071, 0,074, 0,075] \\ [0,291, 0,297, 0,297] & [0,095, 0,096, 0,097] & [0,234, 0,273, 0,279] \\ [0,594, 0,594, 0,6] & [0,098, 0,099, 0,099] & [0,294, 0,297, 0,3] \end{pmatrix}.$$

Применяя метод *TOPSIS*, рассчитаны коэффициенты относительного сходства для каждого взвешенного нечёткого правила (таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что на правило  $R_4$  нужно обратить внимание в первую очередь, поскольку оно указывает, что оборудование работает в нештатном режиме, и значения параметров входят в экстремальные пределы. Затем следует рассматривать правила  $R_1, R_3, R_2$ .

Таблица 3 – Результаты оценки технического состояния

Взвешенные нечёткие правила	$L_j$	Ранг
$R_1$	0,5631	2
$R_2$	0,3812	4
$R_3$	0,4981	3
$R_4$	0,6324	1

## Заключение

В статье описан подход к оцениванию ТС ЭО с учётом разнотипной информации. Новизной подхода является представление параметров в виде НТЧ, а также формирование векторов весов важности значений ТМП. Предлагаемый подход позволяет описать и оценить ТС ЭО за счёт обработки и анализа значений ТМП, влияющих на состояние оборудования по всем наблюдениям. Это позволит выявить предварительную причину выхода ЭО из строя и принять обоснованное диагностическое решение. Процедура построения оценок полностью формализована, что делает возможным реализовать её в составе интеллектуальных систем диагностирования ЭО.

## Список источников

- [1] Wang W., He Y., Han X., Li Y. Functional failure diagnosis method of manufacturing system based on dynamic bayesian network. 2020 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control. 2020. P.93-97. DOI: 10.1109/SDPC49476.2020.9353184.
- [2] Dmitriev S., Safaraliev M., Gusev S., Odinaev I., Ahyoev J., Khujasaidov J., Zicmane I. Analysis and evaluation of experts judgements consistency during electrical equipment diagnostics. 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University. 2020. P.1-5. DOI: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316577.

- [3] **Gao Z., Jiang Z., Lv H.** A physical performance degradation-based approach for optimizing dynamic maintenance strategy of power equipment. *2019 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control*. 2019. P.148-152. DOI: 10.1109/SDPC.2019.00035.
- [4] Россия в цифрах. 2019: стат. сб. / Росстат. М., 2022.
- [5] **Солёная О.Я., Рысин А.В., Солёный С.В., Кузьменко В.П., Квас Е.С.** Характеристики и параметры технического состояния воздушных линий электропередачи. *Приборостроение*. 2021. № 7. С.583-588. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-583-588.
- [6] **Воденников Д.** Техническое состояние электрооборудования: способы оценки. *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2019. №4(15). С.8-11. EDN: ALXTGF.
- [7] ГОСТ 32144–2013 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ. 2014. 19 с.
- [8] **Колоденкова А.Е., Верецагина С.С.** Подход к проверке базы знаний интеллектуальных систем диагностирования промышленного оборудования. *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2023. №3. С.18-27. DOI: 10.46973/0201-727X\_2023\_3\_18.
- [9] **Guang-rui T., Mei-juan Z., Xue-Ting L., Qing-you Y.** Sustainability performance evaluation of grid equipment management based on hybrid fuzzy entropy-TOPSIS method towards future electricity network infrastructures. *2022 7th Asia Conference on Power and Electrical Engineering*. 2022. P.613-620. DOI: 10.1109/ACPEE53904.2022.9783900.
- [10] **Liu Y., Xu Q., Liu Y., Yang B.** Comprehensive evaluation of power quality based on improved TOPSIS method and combination weights. *2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference*. 2022. P.2609-2614. DOI: 10.1109/CIEEC54735.2022.9846788.
- [11] **Zhao C., Ma L., Huo L., Liu Y., Zhao X.** Important degree evaluation of test equipment based on fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS // *2016 11th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety*. 2016. P.1-7. DOI: 10.1109/ICRMS.2016.8050162.

## Сведения об авторах

**Колоденкова Анна Евгеньевна**, 1982 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет в 2004 г., д.т.н. (2017). Заведующая кафедрой информационных технологий СамГТУ. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 180 работ в области программной инженерии, системного анализа, интеллектуальных и биометрических систем, мягких вычислений, экспертной поддержки принятия решений, технической диагностики и мониторинга состояния промышленного оборудования. AuthorID (РИНЦ): 175446; ORCID: 0000-0002-9784-1871; Author ID (Scopus): 57190670136; Researcher ID (WoS): F-1341-2018. [anna82\\_42@mail.ru](mailto:anna82_42@mail.ru)



**Верецагина Светлана Сергеевна**, 1983 г. рождения. Окончила СамГТУ в 2005 г., к.т.н. (2022). Доцент кафедры информационных технологий СамГТУ. Член РАИИ. Область научных интересов: системный анализ, интеллектуальные системы, мягкие вычисления, экспертная поддержка принятия решений, техническая диагностика и мониторинг состояния промышленного оборудования. AuthorID (РИНЦ): 739715. Author ID (Scopus): 57215123417; Researcher ID (WoS): D-9728-2014. [werecaginass@mail.ru](mailto:werecaginass@mail.ru)

**Фаворская Екатерина Александровна**, 1992 г. рождения. Окончила Астраханский государственный университет в 2014 г. Старший преподаватель кафедры информационных технологий СамГТУ. Область научных интересов: программирование на языках высокого уровня, экспертная поддержка принятия решений, техническая диагностика и мониторинг состояния промышленного оборудования. AuthorID (РИНЦ): 109822; ORCID: 0000-0002-6900-5809; Researcher ID (WoS): IUQ-7219-2023. [favororskayaea@mail.ru](mailto:favororskayaea@mail.ru)



**Осипова Екатерина Александровна**, 1992 г. рождения. Окончила Волгоградский государственный аграрный университет в 2014 г. Ведущий инженер кафедры информационных технологий СамГТУ. Область научных интересов: экспертная поддержка принятия решений, техническая диагностика и мониторинг состояния промышленного оборудования. [osipova.ea@samgtu.ru](mailto:osipova.ea@samgtu.ru)

Поступила в редакцию 27.11.2023, после рецензирования 7.01.2024. Принята к публикации 22.01.2024.



## An approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules

© 2024, A.E. Kolodenkova ✉, S.S. Vereshchagina, E.A. Favorskaya, E.A. Osipova

Samara State Technical University, Samara, Russia

### Abstract

To ensure the smooth operation of all existing electric power systems, it is necessary to periodically diagnose electrical equipment using various methods and models that take into account all possible parameters and factors affecting the condition. The paper considers an approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules, taking into account different types of information (measuring, expert). The novelty of the approach is the representation of parameters in the form of fuzzy triangular numbers and the formation of importance weight vectors of term sets parameter values. This makes it possible to accurately assess the technical condition of electrical equipment in the context of different types of information to predict the condition of the equipment; to quickly identify parameters which values are outside acceptable limits, thereby determining the preliminary cause of equipment failure, as well as making informed diagnostic decisions regarding the condition of electrical equipment.

**Keywords:** electrical equipment, assessment, technical condition, fuzzy rules, importance weight, term set, parameters.

**Citation:** Kolodenkova AE, Vereshchagina SS, Favorskaya EA, Osipova EA. An approach to assessing the technical condition of electrical equipment using weighted fuzzy rules [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024. 14(1): 134-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-134-144.

**Funding:** the work was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00415.

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

### List of figures and tables

Figure 1 – Generalized scheme for assessing the technical condition of electrical equipment in IDEF0 notation

Figure 2 – Algorithm for constructing a fuzzy triangular number

Figure 3 – Algorithm for generating importance weight vectors of term sets parameter values

Figure 4 – Evaluation stages of the electrical equipment technical condition

Table 1 – Estimation of term sets parameter values of electrical equipment

Table 2 – Estimation of a term sets parameter value

Table 3 – Results of technical condition assessment

### References

- [1] Wang W, He Y, Han X, Li Y. Functional failure diagnosis method of manufacturing system based on dynamic bayesian network. *2020 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control*. 2020: 93-97. DOI: 10.1109/SDPC49476.2020.9353184.
- [2] Dmitriev S, Safaraliev M, Gusev S, Odinaev I, Ahyoev J, Khujasaidov J, Zicmane I. Analysis and evaluation of experts judgements consistency during electrical equipment diagnostics. *2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University*. 2020: 1-5. DOI: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316577.
- [3] Gao Z, Jiang Z, Lv H. A physical performance degradation-based approach for optimizing dynamic maintenance strategy of power equipment. *2019 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control*. 2019: 148-152. DOI: 10.1109/SDPC.2019.00035.
- [4] Russia in numbers. 2019: statistical collection [In Russian]. Moscow: Rosstat. 2022.
- [5] Solenaya OYa., Rysin AV., Solyony SV., Kuzmenko VP., Kvas ES. Characteristics and parameters of the technical condition of overhead power lines [In Russian]. *Journal of Instrument Engineering*. 2021; 7: 583-588. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-583-588.



- [6] **Vodennikov D.** Technical condition of electrical equipment: assessment methods [In Russian]. *Electricity. Transmission and distribution.* 2019; S4(15): 8-11. EDN: ALXTGR.
  - [7] GOST 32144-2013 INTERSTATE STANDARD Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards of quality of electric energy in general-purpose power supply systems [In Russian]. Moscow: *Standartinform.* 2014: 19.
  - [8] **Kolodenkova AE, Vereshchagina SS.** An approach to the knowledge base validation of intelligent systems in industrial equipment diagnostics [In Russian]. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobsheniya.* 2023; 3: 18-27. DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_3\_18.
  - [9] **Guang-rui T, Mei-juan Z, Xue-Ting L, Qing-you Y.** Sustainability performance evaluation of grid equipment management based on hybrid fuzzy entropy-TOPSIS method towards future electricity network infrastructures. *2022 7th Asia Conference on Power and Electrical Engineering.* 2022: 613-620. DOI: 10.1109/ACPEE53904.2022.9783900.
  - [10] **Liu Y, Xu Q, Liu Y, Yang B.** Comprehensive evaluation of power quality based on improved TOPSIS method and combination weights. *2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference.* 2022: 2609-2614. DOI: 10.1109/CIEEC54735.2022.9846788.
  - [11] **Zhao C, Ma L, Huo L, Liu Y, Zhao X.** Important degree evaluation of test equipment based on fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS. *2016 11th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety.* 2016: 1-7. DOI: 10.1109/ICRMS.2016.8050162.
- 

## About the authors

**Anna Evgenievna Kolodenkova** (b. 1982) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (Ufa-city) in 2004, D. Sc. Eng. (2017). She is an Associate Professor and the Head of the Information technologies Department at the Samara State Technical University. She is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence. The list of scientific papers includes more than 180 works in the field of software engineering, system analysis, intelligent and biometric systems, soft computing, expert decision support, technical diagnostics and condition monitoring of industrial equipment. AuthorID (RSCI): 175446. ORCID: 0000-0002-9784-1871. Author ID (Scopus): 57190670136, Researcher ID (WoS): F-1341-2018. [anna82\\_42@mail.ru](mailto:anna82_42@mail.ru).

**Svetlana Sergeevna Vereshchagina** (b. 1983) graduated from the Samara State Technical University (Samara-city) in 2005, Cand. Sc. Eng. (2022). She is an Associate Professor of the Information technologies Department at the Samara State Technical University. She is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence. The area of scientific interest include system analysis, intelligent systems, soft computing, expert decision support and technical diagnostics and monitoring of industrial equipment condition. AuthorID (RSCI): 739715. Author ID (Scopus): 57215123417; Researcher ID (WoS): D-9728-2014. [werechaginass@mail.ru](mailto:werechaginass@mail.ru).

**Ekaterina Alexandrovna Favorskaya** (b. 1992) graduated from the Astrakhan State University in 2014. She is a Senior Lecturer of the Information technologies Department at the Samara State Technical University. The area of scientific interest include programming in high-level languages, expert decision support and technical diagnostics and monitoring of industrial equipment condition. AuthorID (RSCI): 109822; ORCID: 0000-0002-6900-5809; Researcher ID (WoS): IUQ-7219-2023. [favorskayaea@mail.ru](mailto:favorskayaea@mail.ru)

**Ekaterina Alexandrovna Osipova** (b. 1992) graduated from the Volgograd State Agrarian University in 2014. Lead engineer of the Information technologies Department at the Samara State Technical University. The area of scientific interest include expert decision support and technical diagnostics and monitoring of industrial equipment condition. [osipova.ea@samgtu.ru](mailto:osipova.ea@samgtu.ru).

---

Received November 27, 2023. Revised January 7, 2024. Accepted January 22, 2024.

---

## Круглый стол «Каким будет ИИ следующего поколения?»<sup>1</sup> Round table «What will the next generation of AI be like?»

КИИ-2023, 19 октября 2023 г., Смоленск, Россия

Ведущие: *Карпов В.Э. (НИЦ «Курчатовский институт»)*  
*Самсонович А.В. (НИЯУ «МИФИ»)*

*Карпов В.Э.*: Коллеги, доброе утро! Сегодня у нас единственный, по-моему, на нашей конференции круглый стол. Предполагается формат свободного вещания без длительных выступлений, просто обсудить какие-то наболевшие проблемы. В рамках нашей основной тематики будет рассказ Алексея Владимировича Самсоновича о том, что произошло в Китае, произошло в хорошем смысле... А тема у нас с вами: «Каким будет искусственный интеллект следующего поколения?». На правах ведущего я хочу спросить у Алексея Владимировича: почему тема такая – «Каким будет ИИ ...?» Что не так с нынешним ИИ?



*Самсонович А.В.*: Я, действительно, несколько в неловком положении. Как я уже сказал, мы будем импровизировать на ходу. Что значит: «Что не то»? Всё то, всё великолепно, наоборот, можно сказать, триумф, честь и хвала всем разработчикам, просто невероятные сейчас происходят события. Но при всём этом, конечно, существуют ограничения, выше которых, очевидно, существующий ИИ не поднимется. Есть некий потолок для современных больших языковых моделей и глубоких нейросетей, и, в частности, он связан с их неспособностью до сих пор воспроизвести человеческое социальное поведение на уровне взрослого человека. Как человек может себя вести с друзьями, на вечеринке или в жизни вообще. Т.е., когда речь идет о принятии решений: как адекватно отреагировать, как поступить, как проявить себя по отношению к тому или иному человеку, с которым уже есть какие-то сложившиеся отношения, в той или иной ситуации. Тут, конечно, ИИ оказывается беспомощным, просто потому, что это чисто статистическая модель.

Она, конечно, обучена на данных, а данных подобного рода в нужном объёме нет, чтобы её обучить. Да и если бы они были, то само обучение непонятно, сколько займёт, вся история человечества нужна. Поэтому, мне кажется, что должны произойти какие-то изменения. В частности, много говорят об интеграции статистического и когнитивного подходов. Т.е. речь идёт, в частности, о когнитивных архитектурах и о глубоких нейросетевых и больших языковых моделях. Многие сейчас говорят об этой интеграции, очень много появилось идей. Меня Валерий Эдуардович пригласил сказать о событии, где обсуждалась эта тематика. Например, Джон Лейерд (*John Laird*, Center for Integrated Cognition, <https://integratedcognition.ai/our-team>) ставит много интересных и важных вопросов. Факт, что об интеграции думают многие, подходы есть разные. У меня есть свой взгляд на эту задачу, но я думаю, надо ждать, что произойдёт какое-то качественное изменение. Причём, как говорит Лейерд в своей лекции: «Новый ИИ должен быть полностью автономным». В том смысле, что ему не нужно будет ставить такую-то цель, задачу. Он будет непрерывно расти, эволюционировать и адаптироваться под человеческие нужды и сам решать, что ему делать. Это, конечно, сложная проблема.

А пока вопрос стоит о том, как, собственно, использовать большие языковые модели для наших нужд, видимо, в сочетании с другими средствами, потому что сами по себе они при всём своём могуществе оказываются весьма ограничены. Я не знаю, в каком-то смысле я ответил на вопрос или нет.

*Карпов В.Э.*: В общем, чего-то не хватает, поэтому надо думать о том, что должно быть дальше.

*Самсонович А.В.*: Да. Если так ставить вопрос, о чем хотелось бы поговорить? Я тут набросал три пункта:

- Каким должен быть ИИ? Должен ли это быть всё же автономный агент, общающийся с человеком на социальном уровне и не требующий программирования, или же это должна быть какая-то среда для разработки или платформа?
- Должен ли ИИ быть рукотворным, в том смысле, что он создаётся путём инжиниринга руками программистов, или же он должен быть самообучающимся, т.е. возникать сам в нужных созданных условиях?

<sup>1</sup> Прошедший в рамках КИИ-2023 Круглый стол стал одним из наиболее интересных мероприятий конференции. По его итогам предполагалось сделать информационное сообщение. Затем возникла идея им не ограничиться, а сделать некоторый развёрнутый текст, – очень уж интересными показались выступления участников и затрагиваемые ими темы. Когда была готова расшифровка выступлений, которую можно было положить в основу текста, оказалось, что Круглый стол именно в виде стенограммы, со всеми шероховатостями, оговорками и пр., имеет свою особую привлекательность. Этот живой текст и предлагается читателю. Редакция лишь слегка прикоснулась к нему, стремясь сохранить его «дух».

- Как мы должны регулировать его этичность и его поведение с точки зрения морали? Тут неизбежно нужны какие-то ограничения. Нужны ли для этого законы, какая-то конституция, или же нужно что-то вроде воспитания, как мы воспитываем человека?

Вот такие вопросы хотелось бы обсудить.

**Карпов В.Э.:** Да, отчасти мы определяем что-то вроде направления развития или свойства, или что, Алексей Владимирович? Вчера, например, Алексей Николаевич Аверкин рассказывал в своём докладе о поколениях ИИ. Алексей Николаевич, Вы нам скажете пару слов о том, что было?

**Аверкин А.Н. (ВЦ им. А.А. Дородницына РАН):** Да, конечно. Я вкратце скажу. Понятно, что 1-е поколение – символичный интеллект, 2-е – коннекционистский. Сейчас коннекционистский – все глубокие сети и машинное обучение. Третье, по терминологии *IBM*, в основном я связываю его с объяснительным, но там ещё доверительный, этический, но в основном это доверие связано с объяснением, т.е. раскрытием. У нас каждое десятилетие во всём происходят сдвиги. ИИ первого поколения от экспертного обучения и баз знаний, созданных вручную, перешёл к глубокому обучению 2-го поколения, к нейросетям, большим обучающим выборкам, это примерно с 2000 до 2020 г. Теперь мы вступаем в 3-е поколение ИИ, где система может интерпретировать и объяснять алгоритмы принятия решений, даже если он имеет природу чёрного ящика, т.е. объяснимый ИИ является основной частью, но, естественно, не единственной, 3-го поколения. В 30-е годы увидим ИИ 4-го поколения с машинами, которые будут сами обучаться и динамически накапливать новые знания. К 40-м годам и, наверное, до 50-го и там до бесконечности – это уже системы с воображением, сильным ИИ, суперинтеллектом.

В 1970-1990 гг. ИИ хорошо рассуждал, но были проблемы с обучением, обобщением. В основном это был символичный интеллект, основанный на правилах. Сейчас 2-е поколение, которое хорошо обучается и воспринимает, но слабо в рассуждении и обобщении. Это машинное статистическое обучение, глубокое обучение – очень хороший результат, даже лучше, чем у человека, в обработке текста и изображений. 20-е, 30-е годы – ИИ прекрасно обучается и рассуждает, способен объяснять решение, это главное, пожалуй. Способен общаться на естественном языке на многие темы. Но *GPT* чуть не дотягивает до 3-го поколения, он не может объяснять свои действия, я много раз пытался получить из него объяснение алгоритма, ни разу не получилось. Нужен отказ от больших данных, нужны меньшие объёмы данных для обучения, минимальный внешний контроль. Ну, уже 4 и 5 волны способны решать те же интеллектуальные задачи, что и человек, это так называемый сильный ИИ, ведущий к суперинтеллекту и «технологической сингулярности», когда мы теряем контроль над скоростью развития интеллекта, он уже доходит до результатов, которые мы не можем себе представить. Мы учим его одному, а он имеет что-то другое. *GPT* примерно такой – частотный словарь, а оказывается, умеет делать почти все, что умеет человек. Плохо, но умеет... Все основные методы объяснительного интеллекта пошли именно отсюда. Финансирование, естественно, дошло до 3-го поколения. Вот это моя позиция, спасибо.

**Карпов В.Э.:** Кто хочет сказать по поводу того, что говорил Алексей Владимирович? Я напоминаю, у него поставлены следующие вопросы: агенты или среда, рукотворный или самообучающийся интеллект, то, о чём, в частности, говорил предыдущий докладчик. Третье – это вопрос этики. И пять волн у Алексея Николаевича.

**Мельников А.В. (Югорский НИИ ИТ):** Я хочу сказать, что принципиально не согласен с предыдущим выступающим. И с постановкой вопроса, и с теми результатами, которые у нас есть. 14 марта 2023 г. был объявлен публичный доступ к большой языковой модели *GPT-4*. В принципе, ничего особенного не произошло. Но тот, кто занимается практическими решениями задач обработки естественных языков, знает, что эта модель позволила на 10 и более процентов повысить качество обработки текстов. Я представляю отраслевой институт. Руководство округа не интересуется, занимаюсь ли я фундаментальными исследованиями. Его интересует решение вполне конкретной задачи: автоматизируй деятельность чиновника, сделай генерацию нормативно-правового документа, чтобы он соответствовал всем предыдущим документам – это реальная задача. Если я скажу ему, что достоверность составляет 80%, а чаще всего меньше – вспомним модели предыдущие, *BERT*. Сколько даёт средняя бертовская модель? Ну, больше 80% никто не вытягивает. На этих моделях реализовать реальные решения, практические задачи невозможно. Поэтому все академические исследования, которые проводились, оставались в стенах исследовательских институтов, лабораторий и т.д.

Когда произошел прорыв по качеству обработки текста – это включает в себя суммаризацию, выделение именованных сущностей, формирование диалога – в этот момент появилась возможность решать практические задачи с помощью тех вещей, которые придумали наши основатели, т.е. задачи автоматизации интеллектуальной деятельности человека. Я хочу отметить важный момент: если вспомнить эпоху появления компьютера, к чему она привела в итоге? К повышению производительности умственного труда человека... Одно из лучших решений в мире с точки зрения подготовки текста – *Microsoft Office*, мы все пользуемся им. Сейчас появилась возможность создать аналогичные инструменты, только следующего поколения. Моё глубокое убеждение, что эти инструменты появятся, не, как нам коллега показывал, в 30-е годы, а в 24-м. Не хотите? *Microsoft* уже встроила в *Word* свою не очень хорошую, но, тем не менее, искусственную большую генеративную модель.

Мы обсуждаем этические нормы: можно или нельзя? Если говорить о создании действительно ИИ, который будет моделировать личность человека, это совершенно отдельная задача. Но ведь одна из фундаменталь-

ных задач, которую мы имеем, это повысить производительность интеллектуального труда человека. За всю историю ИИ впервые не самые слабые люди мира обратили внимание: «Вау, происходит что-то такое фундаментальное, что меняет всю картину человечества». А мы что имеем на сегодняшний день? Вот эта картинка мировая [показывает слайд из презентации]. Первая строчка – GPT-4. Это *State of the Art*, лучшее решение, которое мы имеем. Это вот последняя публикация вчерашняя, *HuggingFace* – мировой площадки, на которой строятся и отрабатываются большие языковые модели. Вот последние строчки, которые выделил я специально. Обратите внимание, это 7-миллиардные модели. Знаете, в чём их особенность? Они неплохо реализуются на наших мобильных телефонах. Т.е. эти модели завтра придут к нам, сюда, на наш мобильный телефон.

А давайте посмотрим: сколько моделей больших языковых сделано в Российской Федерации? Две.

**Самсонович А.В.:** *DeepPavlov*?

**Мельников А.В.:** Нет, господа, *DeepPavlov* – это *BERT*, это 19-й год, всё померло уже. Мы сейчас работаем реально на бертовских моделях, их на *HuggingFace* порядка 80, одна из них – это Сбербанк, кстати, один из лучших показателей. Но это 19-й год, а мы живём в 23-м. Так вот, в 23-м году на территории Российской Федерации работают два коллектива, которые сгенерировали свои большие языковые модели. Вот коллеги будут сейчас выступать, рассказывать про Китай. Сколько в Китае сделано моделей больших языковых?

**Самсонович А.В.:** Я не могу вам сказать.

**Мельников А.В.:** Я могу сказать, потому что это цифра, которую я услышал от китайских партнёров – больше сотни. Больше сотни коллективов, которые делают эти работающие [модели]. Давайте посмотрим, в конце концов, у нас же есть Америка для сравнения. Это наш главный оппонент, про которого мы говорим. Сколько там сейчас коллективов? Я могу назвать сравнимые модели, которые по качеству работают примерно так же: *Cloudy*, *GPT*, понятно, *Bard* и дальше могу перечислять. А ситуация, которая на сегодняшний день на территории России? Мы, например, попробовали модели Сбербанка. Хочу сказать, что я ни в коем случае не претендую на итоговую оценку качества моделей. Но, обратите внимание, вот строчки «*YaGPT*» – это Яндекс-*GPT* по уровню, ноль – это оценка, *Turbo\_2* – это 3,5-*GPT* модель. Верхняя *GPT-4*, понятно по качеству ответа, что работает. Обратите внимание, Яндекс *GPT-2* лучше стала, чем первая модель, которая вообще печальная была. Она вот тут находится, а *GigaChat* из Сбербанка.

И думаете, на чём мы работаем сейчас? Мы все работаем сейчас на *Saiga*. Почему на *Saiga*? И что такое история *Saiga*? Представляете, американская компания, опубликовала на *HuggingFace* обученную нейронную сеть, которая обучена на 70 миллиардах параметров. Мозг человека – это 100 миллиардов. Эту модель подхватил Стэнфордский университет и, дообучив её, в том числе этическим нормам, потому что она была очень сырая, сделал модель, которая пошла по миру и называется *Saiga-1*, а потом они ещё дообучили до *Saiga-2*. Так вот, *Saiga-2* – англоязычная модель, на сегодняшний день единственный инструмент в Российской Федерации, который я могу поставить у себя на серверах и начать работать, решая реальные задачи.

У нас сейчас стоит *Saiga2\_13b*, Белуга. А что такое Белуга? У нас сейчас дообученные модели, сделанные группами энтузиастов, например: два инженера компании МТС дообучили модель, и эту модель мы начали все использовать... Наверное, всем нравится пользоваться телефоном *Apple*, работать с операционной системой *Windows*, использовать *Microsoft Office*... Мое глубокое убеждение, что сейчас примерно та же ситуация сложилась с большими языковыми моделями... Я только что вернулся с ЗОНТа [IX Международная конференция «Знания-Онтологии-Теории», 2-6 октября 2023 г., Новосибирск]. Там с коллегами обсуждали, что есть нейронные сети, есть когнитивные модели, вот они вроде бы противостоят, но ничего подобного. Мы должны понимать, что это технологии, которые, особенно объединяясь, позволяют действительно эффективно решать практические задачи, которые бизнес возьмёт на себя, начнёт продавать. Поэтому, заканчивая это дискуссионное выступление, отвечаю на вопрос.

**Первое:** *GPT*-модель полностью изменила ландшафт ИИ. И это будет в ближайшие 10 лет, такой мейнстрим, который не знаю, во что выльется. Может быть, в те модели интегрированные, скорее всего так и будет. Потому что с точки зрения структурно-логических моделей они обязательно должны прийти, потому что это понимание сущности. В конце концов, ведь правильно – это статистическая модель.

**Второе:** если Российская Федерация имеет претензии занять какое-то место в мире не на уровне посылки выпускников наших университетов в *Google* или ещё куда-нибудь, где они будут потом создавать лучшие продукты, которые мы всю жизнь будем покупать, примерно, как мы сейчас покупаем персональные компьютеры... Это чистая экономика. Это наука, реализованная в нашей повседневной жизни и в качестве нашей жизни.

**Третье:** мне очень понравилось выступление «а как же ИИ?». Тут такая конкуренция. Подумайте, коллеги, я приехал, в том числе сюда, потому что считаю, что коллектив единомышленников может и должен говорить о приоритетах, в том числе, в государственной политике, которые должны реализовываться...

И последнее. Я послушал Академию наук, Всемирный конгресс по ИИ, там выступали мои коллеги. Мне было грустно, потому что общаюсь реально с молодежью. По-хорошему, у нас порядка пяти групп, которые есть в Новосибирском госуниверситете, которые есть в Москве, в том же МФТИ, которые лидеры по этой тех-

нологии, которые понимают, что и как надо делать... Мне коллеги говорят из Китая: «Давай, свои задачи на наших серверах». Я говорю: «А как это?» – «Ну как, это будет наш общий результат» – так работают китайцы.

В результате у меня предложение. Не знаю, готов ли коллектив, готов ли форум, сделать такое заключение, обращение, что, на мой взгляд, очень здорово, когда первые лица обращаются к тематике ИИ...

**Карпов В.Э.:** Спасибо, Андрей Витальевич. У меня будет три коротких вопроса к Вам.

В своё время, когда рецензировали статьи, относил в тот или иной журнал, сборник, помню, спрашивалось: по теме статья или не по теме? И один из критериев был такой: насколько эта работа, это исследование приближает нас к пониманию того, как мыслит человек? Нет, я не против нейронных сетей, тем более, чата GPT. И насколько вот эта технология приближает нас к пониманию того, как решаются человеком какие-то задачи? Помимо того, что система чудесно имитирует осмысленность.

**Мельников А.В.:** Все, наверное, читали книгу Сбербанка «Доверенный интеллект». У меня возникает только один вопрос. Вы возьмите губернатора, который принимает решение, и скажите: «А ну-ка, аргументируй мне доверенным интеллектом, почему ты принял решение вот этого поддержать человека, а не того?»

У меня вопрос примерно такой: мы хотим шашечки или ехать? Мы хотим поднять производительность труда? Причём, обратите внимание, я не случайно говорю, вот все мои презентации – это нейроассистент. Это инструмент поддержки и помощи человеку, точно такой же, как любой другой. Есть фундаментальные вопросы: вообще, как работает нейронная сеть, как она решает эти задачи...

**Карпов В.Э.:** Я понял. Спасибо. Ещё у меня был второй вопрос: какие же аспекты интеллектуальной деятельности мы автоматизируем и повышаем производительность? Понятно – имитация деятельности... А все-таки, у нас тема «Каким будет ИИ следующего поколения». Одна фраза: каким будет? Имитатором?

**Мельников А.В.:** Это будет ассистент человека, который позволит раз в десять, а такие оценки есть, поднять эффективность деятельности человека при выполнении рутинных, подчеркиваю, рутинных операций по обработке информации и управлению.

**Карпов В.Э.:** А уж выявляет ли он эмпирические закономерности или не выявляет – это дело десятое?

**Мельников А.В.:** Ну...

**Кобринский Б.А. (ФИЦ ИУ РАН):** Уважаемые коллеги, с удовольствием послушал предыдущего выступающего, не буду повторять, со многим согласен. К сожалению, Алексей Николаевич знает, я частично или в значительной части не согласен с его прогнозами... Я хотел как бы две стороны рассмотреть. Одна сторона, связанная с практическим применением, только что была достаточно красиво и понятно представлена. Но, с другой стороны, есть вот этот фундаментальный или теоретический аспект. Алексей Николаевич говорит о том, что система будет рассуждать.

Мы в системах ещё первого поколения начинали с объяснения и рассуждения, но это была имитация человеческой деятельности. Здесь речь идёт, что системы смогут рассуждать так, как рассуждаем мы с вами. Рассуждать так – значит обладать самосознанием. А дальше возникает сильный ИИ, который сможет решать, как сказано, любые задачи. Ну, я думаю, Алексей Николаевич просто погорячился, потому что, если любые задачи, значит и любые теоретические задачи: была физика Ньютона, была физика Эйнштейна, будет физика ИИ, робота с ИИ – он создаст какую-то новую совершенно физику. Во всех областях будет создаваться что-то новое.

Но если перейти к этической или этико-юридической стороне, коснуться её, то можно вспомнить и роман «Франкенштейн». Если высокоинтеллектуальные роботы будут всё это уметь, то через некоторое время они подумают, что люди что-то мельтешатся, недостаточно хорошо рассуждают, у них недостаточно всё представлено, аргументировано, они, так сказать, эмоциональны не в меру, а вот у нас эмоции нормальные. Убрать их (людей), и будет всё прекрасно, и в мире всё станет идеально. Будет, так сказать, царство роботов.

Немногок утрирую, но если говорим, что сверхсильный ИИ уже появился, то тогда действительно. А что же мы – будем просто помогать? Вот слово «ассистирующее» меня порадовало, потому что я об этом пишу в статьях и говорю студентам и в МГУ, и в медицинском университете о том, что системы мы делаем даже не консультирующие, как их часто называют, а ассистирующие, они действительно вторые. Роботы в хирургии, например, называют «второй ассистирующий робот-хирург». Он ассистирует, но не консультирует...

Действительно идут эти волны, Вы правы, Алексей Николаевич. Те волны, которые прошли, мы можем оценить. Будущее мы прогнозируем, мы предполагаем. Действительно должна быть смычка различных подходов, они будут взаимодополнять друг друга. Большие языковые модели – прекрасно, они будут эффективны, но, когда мы говорим, что системы сегодня интерпретируют и объясняют – они вообще не объясняют, если говорить о нейросетях. А насчёт интерпретации, она или на уровне ребёнка, или это интерпретация для разработчика, тут я полностью согласен. Как изменяются весовые коэффициенты на разных слоях, это очень важно, мы лучше подбираем всё это, систему дообучать намного проще, но нужно как-то интегрировать с объяснением.

Военные спрашивают: как вообще мы это представляем? Такой условно «сильный», необъясняющий ИИ сегодня говорит, что надо нажать кнопку. На основе чего он (военный) должен это делать? Непонятно, на осно-

ве чего он соглашается и должен подчиняться, нажимать кнопку. То же самое врачи. Если человеку ставится системой опасный диагноз, врач не соглашается и ошибётся – его накажут: ИИ ему подсказал. А если наоборот – он согласился, но ИИ ошибся – тоже накажут. Без объяснений он не понимает, что ему делать с этим решением: хорошее, плохое, правильное? Если область ему недостаточно известна. Всё это требует решения...

**Карпов В.Э.:** Борис Аркадьевич и Андрей Витальевич правы в том, что все эти вещи, даже без объяснений, воплощаются в практике. Просто вспоминаю статью в журнале «Закон», в которой один из ведущих юристов, как он себя позиционирует, написал текст с помощью *GPT* и долго потом очень основательно говорил, что наконец-то появилась у юристов возможность писать качественные юридические тексты.

**Самсонович А.В.:** И не только юридические статьи.

**Карпов В.Э.:** Да, ещё и медицинские, наверное, будут писать. Это да, это беда, с этим надо что-то делать.

**Кобринский Б.А.:** Это было не только в статье, я недавно слышал это в другом месте, из уст одного человека, он сказал да, ИИ будет помогать, мы будем разрабатывать юридические документы. Может быть, ИИ может в чём-то помогать, но ассистировать на каких-то узких этапах, а не заменять, потому что иначе мы действительно скатимся. А что касается развития, наши самые лучшие системы с большими возможностями зачастую очень хорошо решают задачи, когда обработка данных быстрая. Кто знает все шахматные партии мира? Почему *IBM Watson* обыграл шахматиста? Потому что, конечно, компьютер всё может анализировать на 20, или сколько там у них ходов, при возможности *IBM Watson*. Но я просто привел пример.

Пока это была игра в шахматы, всё было прекрасно. Ведь *IBM Watson* заявили, что они решат проблемы медицины, в первую очередь, онкологии. Они действительно создали целый ряд программ, работали с американскими клиниками серьёзными и писали, и выступали, и рассказывали о хороших результатах. Кстати, я их не раз слышал, каждый раз просил, пришлите какую-нибудь статью, каждый обещал, ни одной статьи не было, были только пресс-релизы. Медики тоже ничего не писали до поры той, когда сегодня есть иски к *IBM Watson* в Соединенных Штатах от клиник пострадавших, пострадали больные, потому что предложения были неудачные. Значит, есть ограничение между тем, что работало всё в узкой сфере, даже, например, шахматы, там всё равно есть крайние границы, всё можно перебрать. В медицине, в космосе или в военном деле всё перебрать будет невозможно. И поэтому тут нельзя переносить одно на другое, а это тоже переносится.

**Реплика из зала:** Это совсем разные миры.

**Кобринский Б.А.:** Это вообще разные миры. Я сейчас не говорю о больших языковых моделях, я сейчас о том, что, когда мы говорим о каких-то супердостижениях, когда говорится, что это решит наши те или иные проблемы, к этому надо относиться очень аккуратно. Касается ли это *IBM Watson*, языковых моделей, везде нужно понимать, какие у нас есть, могут возникнуть ограничения. Иначе мы можем очень далеко зайти...

**Реплика из зала (Еремеев А.П. – НИУ «МЭИ»):** У меня вопрос скорее к Андрею Витальевичу, как к специалисту. Доклад его прекрасен, более того, я полностью согласен с тем, что он сказал о Китае...

Я бы хотел задать вопрос: не зря сейчас идёт переход от инженерии знаний к науке о знаниях. Почему? Потому что, естественно, всё должно строиться на базовом фундаменте. Фундамент для нейронных сетей оказывается довольно хлипкий, но мы иногда уже видим, что ребята из Сколково, Университета Иннополис дают такие заявления: мы всё сделаем, у нас нейронная сеть всё рассчитает. Наверное, все слышали, доклад академика РАН Бетелина В.Б. и доктора физ.-мат. наук Галкина В.А. на Всемирном Конгрессе. Фундаментально о базе нейронных сетей. Очень резко высказались, опираясь на действительно фундаментальную теорему Тихонова, что отображение конечного множества (а нейронная сеть всегда обучается на конечном множестве) на бесконечное, когда идёт конкретное распределение, – это всегда модель неустойчивая [по отношению к бифуркациям и хаосу]. Т.е. вполне может быть ситуация: тысячу раз вас система узнала, а на тысячу первый она считает, что вы находитесь в базе Интерпола как разыскиваемый преступник. На Западе уже был ряд судебных процессов этого плана, у нас это более мягко.

Т.е. речь идёт о том – мы с Алексеем Николаевичем говорили, – что очень важно создать доверительный ИИ, т.е. чтобы хотя бы какое-то объяснение от нейронной сети получить... И вот, в связи с этим, мне бы хотелось выяснить, этот принципиальный фундамент.

По поводу объяснительной компоненты здесь говорили уже сто раз, что-то пытаются встроить. А вот этот фундаментальный базис, что в принципе модель такого типа всегда неустойчива... И чем глубже, более сложная нейронная сеть, глубокое обучение, свёрточное, рекуррентное и т.д., тем меньше её надёжность. И мы не можем спрогнозировать тот момент, когда система даст сбой. Ну, и видно уже по многим случаям, что и шаттл сталкивается, и система ошибается при распознавании. Вот ваше бы мнение, как специалистов в этой области.

**Мельников А.В.:** Я только два предложения скажу. Человек может ошибаться. Нейронная сеть может ошибаться. Вот скажите: в чём разница этих утверждений? Почему в одном случае мы говорим: нам нужна доверительная нейронная сеть. Я хочу сказать, что принципиальный механизм нейронной сети – это всегда статистическая обработка с вероятностью ошибки. А почему по отношению к человеку этот термин неприменим?

**Самсонович А.В.:** Разница очевидна, мне кажется. Так, как может ошибаться нейронная сеть, человек никогда ошибиться не сможет.

**Мельников А.В.:** Классическая задача: распознавание знаков на дороге. На сегодняшний день нейронная сеть делает оценки лучше, чем человек. И многие вещи, которые есть. Она точно так же ошибается, как любой человек... А вот кто преподаёт студентам? Никогда не слышали, как галлюцинируют студенты на экзамене?

**Карпов В.Э.:** Нет, подождите, это сейчас идёт, мне кажется, уже не очень честная игра, потому что, конечно, ошибаются все. Но простите, я отвечаю за свою ошибку, и я пытаюсь объяснить, почему я принял такое решение, пусть ошибочное, прежде чем оно будет реализовано. Здесь говорилось очень много как раз об объяснительном компоненте. А так – разумеется.

**Мельников А.В.:** Один нюанс. Мой тезис звучал об ассистенте. Спасибо, я поддерживаю эту идею. Т.е., другими словами, говорить об отдельной независимой личности, которая существует в обществе и решает задачи... Я пока даже не верю, даже не понимаю, как это может быть сделано... Когда я слушаю утверждения юристов по поводу опасности ИИ, я сразу картинку представляю следующую: палата лордов, конец XIX века, появилась страшная железка, которая ездит по дорогам. Что будем делать, как защищаться? Поставим человека с флажком впереди. А иначе... Ну и что дальше было? Историю знаете.

**Карпов В.Э.:** Ну понятно. Мария Николаевна хочет что-то сказать.

**Королева М.Н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана):** Коллеги, опять начали много говорить про нейронные сети: ругать их, не ругать – неважно. У меня вопрос. Мы так много говорим про объяснительную компоненту в ИИ, она нужна, она важна. Может быть, начнём все-таки определять, что же такое объяснительная компонента? И, может быть, займемся именно методами объяснительной компоненты тогда? Может быть, у кого-то есть какие-то комментарии на этот счёт: что это такое, чем это может быть на самом деле, ДСМ-методы, другие методы?

**Карпов В.Э.:** А это точно в плане темы нашей?

**Королева М.Н.:** Каким же будет ИИ?

**Карпов В.Э.:** Он будет объяснительным.

**Королева М.Н.:** Каким объяснительным он будет? За счёт чего он будет нам объяснять, как он думает, как он рассуждает. Хорошо, тогда, пожалуйста, у меня просьба как молодого члена ассоциации. Кто-нибудь, подготовьте к следующей конференции такой вот доклад: видение объяснительного, объяснимого ИИ. Мне кажется, это будет очень интересно.

**Богданов М.Р. (БГПУ им. М. Акмуллы):** На мой взгляд, мы упускаем один момент, когда говорим про будущее ИИ, – это развитие пограничного ИИ и изолированного ИИ. Дело в том, что с развитием миниатюризации мы постепенно приходим к тому, что нас будет окружать огромное количество очень дешёвых, очень маленьких вот таких гаджетов, которые даже размером будут с песчинку. Мы на них можем наступить, не заметить, но они будут играть очень важную роль, причём как положительную, так и отрицательную роль. На слайде показана такая «страшилка» из области нанотехнологий, умная серая нанослизь. Это такие нанороботы, которые теоретически смогут размножиться и захватить весь мир...

**Карпов В.Э.:** Т.е. ИИ будет, прежде всего, овеществлённым, да? Хорошо.

Обозначу некоторые тезисы в попытке ответить на вопрос «Каким будет ИИ?» буквально. На мой взгляд, он будет, во-первых, этическим, и, во-вторых, социальным. Коротко попробую обосновать. Модели поведения – это то, что относится исторически к направлению и сфере интересов ИИ, по крайней мере, явно так когда-то формулировалось. Воплощённый или овеществлённый ИИ нынче, в общем-то, тоже как-то особо ни у кого не вызывает возражений... И, в-третьих, будет декларироваться дальше то, что имеет под собой какую-то более-менее реальную основу, некие готовые технологии, не заглядывая совсем уж так в будущее.

Ну, вот этика. Я говорил, что все права, все затрагивают вопросы этики, агентности. Действительно, это вопрос, который на нашей конференции не затрагивался в принципе, об этом говорят много, и, почему мы не в тренде этого процесса, не очень понятно. Говорят совсем о другом. Вот совершенно не в ту сторону люди, говоря об этике и ИИ, идут обычно, потому что это неинтересно. Последствия, угрозы, вызовы, это, конечно, всё очень здорово, но не в этом специфика этики ИИ. Единственный специфичный момент этики ИИ в том, что мы имеем дело с системой, которая, по крайней мере, потенциально принимает жизненно важные и критичные для человека решения автономным образом. Ну, и стало быть, нас интересует как технарей: может ли сама техническая система или искусственный агент быть этическим? А зачем это нужно?

Вот совершенно практическая задача. Когда мы создаём коллаборативных роботов, роботов-партнёров, наверное, мы ожидаем, помимо прочего, ещё и того, что мой партнёр в сложной ситуации будет себя вести исходя из моих ожиданий о том, что такое хорошо, плохо, представлении добра, зла и т.д. Короче говоря, я буду от своего партнёра ожидать то, что я оцениваю с точки зрения этичности. Вот тогда возникает вопрос: а как сделать поведение искусственного агента, интеллектуального, когнитивного, какого угодно, неважно, таким,

чтобы его поведение отвечало моим представлением? И вот тут начинается целый ворох проблем. Я не просто так спрашивал по поводу онтологии гуманитарных областей? Проблема в том, что об этике говорить без философов тяжело, у философов есть всё для того, чтобы вам объяснить, что такое хорошо, что такое плохо, этические школы. Вот если бы можно было формализовать, построить онтологию, когнитивную карту, и дальше сопряхать с моделью мира, вот тогда поведение искусственного агента было бы, на наш взгляд, этическим...

Дело в том, что, когда наш искусственный агент совершает какое-то действие, он имеет возможность всегда объяснить, оправдаться, почему он сделал так. И он вам объяснит, докажет на основе формализма, в него заложенного, почему его поведение, когда он бросил партнёра, убежал куда-то, всё равно является этическим с точки зрения представления о гедонизме, эпикуреизме и т.д. Это уже хорошо, но, собственно говоря, он ведёт себя абсолютно как нормальный человек, которого мы считаем высокоморальным. Высокоморальный человек – это тот человек, который всегда вам объяснит, почему он так поступил. Способный объяснить, почему он обидел слабого, почему он должен был бросить кого-то. Вот здесь этичность в каком-то смысле обусловлена требованиями техническими. Ещё вчера упоминалась на пленарном докладе, такая неприятность, с GPT Сбербанка связанная. Слишком много бдительных граждан пишет обращения в органы по поводу каких-то непонятных ответов. Возникает вопрос, а как верифицировать на этичность то, что выдаёт очередной чат? Здесь вопрос формализации. Построение онтологии и прочих моделей могли бы помочь этому коммерческому проекту.

Следующий вопрос. Опять, техническая задача, групповая робототехника... Штука в том, что, когда маленькие устройства, нанороботы и прочие, живут в сложной среде со всеми неприятными атрибутами, надо искать какие-то пути адаптации, пути решения задачи устойчивого функционирования. В природе такой путь есть – это образование социума. Исходя из этого, когда мы имеем дело со сложными, недетерминированными задачами, стохастическими, динамическими средами можно попробовать пойти по пути природоподобия.

Природоподобие будет сегодня рассматриваться, это та самая *BICA*, о которой Алексей Владимирович расскажет. Я о том, что один из путей развития интеллектуального, овеществлённого или воплощённого ИИ – образование социумов. Здесь возникает целый ворох проблем, которые ещё надо будет решать, но, с другой стороны, под этими задачами уже сегодня есть некий базис. И обратите внимание, там же, как ни странно, возникла опять этическая составляющая. Потому что, когда мы имеем дело с социумом, всегда надо уметь решать конфликты, а задача морали – это разрешать конфликты, которые не регулируются другими механизмами.

Вот, собственно говоря, почему неизбежным образом в социуме появляется то самое, что имеет отношение к предыдущему направлению об этичности поведения. Вот это я и хотел сказать. На мой взгляд, прямо отвечая на вопрос, каким он будет, мне кажется, что ИИ следующего поколения будет этическим и социальным. Спасибо.

Кто ещё хочет выступить?

**Виноградов Г.П.: (ТвГТУ):** Я много слышал о том, что рой, социоподобные и т.д. рожают эмерджентность. Вот не могли бы Вы сказать, есть ли какие-то решения этой задачи? Т.е. как само групповое поведение рождает эмерджентность? Ведь то, что социоподобно, реализует новую модель поведения. Это и есть эмерджентность? Но, когда мы рассуждаем о том, что рой что-то нам делает за нас, мне кажется, это немного неправильно.

**Карпов В.Э.:** Нет, рой ничего не делает. Группы агентов могут иметь разную структуру. Вот рой – это самое неинтересное. Рой – это структура, в которой вы ориентируетесь исключительно на своих ближайших соседей, у вас нет общих целей, задач, понимания того, что нужно делать. А социум начинается тогда, когда у вас группа агентов, во-первых, неоднородна, там нужен лидер или система лидеров, когда есть специфические механизмы взаимодействия. В биологии это стремление быть вместе, какая-нибудь когезия, повторять телодвижение или поведение других, это опять же вопрос доминирования. Вот из каких-то базовых механизмов складывается то, что мы называем социумом. Я не про социум людей, люди здесь совершенно ни при чем. Тогда, когда эти механизмы начинают работать – есть такое необходимое и достаточное условие – группа агентов начинает самоорганизовываться в том плане, что она совместно начинает решать какие-то задачи.

Например, она начинает перераспределять функции, точнее, мы наблюдаем, как происходит перераспределение функций. Мы наблюдаем, как организуются какие-то структуры, которые разнятся не только по морфологическому, но и функциональному признаку. Мы видим, как система становится устойчивой к убитию части членов и действительно занимается тем, что решает основную свою задачу. Ведь социум – это просто способ решения, да? Можно без социума как-то обойтись [Сложные, морфологически развитые животные решают задачу индивидуального выживания вполне успешно]. А вот муравьи, например, так не могут. Это – тропические животные, 120 миллионов лет назад им стало холодно, они выживают только сообща. Ничего такого здесь нет, не надо проводить аналогии с человеческим обществом. Это просто путь развития технических систем.

Вы скажете: что такое эмерджентное свойство в самом явном виде, с точки зрения вот тех самых новых абсолютных свойств и прочее? Я вам такого примера не приведу, потому что начнёте приводить контрпримеры, это очевидно. Вообще эмерджентность – это дело мутное. С точки зрения технической или робототехнической единственное, что видел в своей жизни – опубликованная не так давно в журнале «Природа» статья. Там была



эмерджентная система – простые технические устройства с одной степенью свободы, которые ничего не могли делать, а когда они соединялись вместе, начиналось движение. Вот, на мой взгляд, единственный пример внятный технический, без всяких спекуляций, в котором проявляются эмерджентные свойства на 100 процентов.

**Аверкин А.Н.:** Можно ещё одно замечание. Тут прекрасный вопрос: могут ли нейросети ошибаться? Мне кажется, нейросети 3-го поколения уже не будут ошибаться. Во-первых, они объясняют, как чёрный ящик, мы влезаем в нейросети и строим логические структуры внутри. Мы подсвечиваем всякие знаковые пиксели, в общем, если нейросеть ошиблась, даже пользователь может найти её ошибку. С другой стороны, сеть может объяснить другой нейросети на символьном языке. К тому же вот вы помните эти голубые волны, которые синусоиды? Что делает 1-е поколение в 3-м поколении? Оно сейчас делает большие графы знаний. Ну, вот ещё Гугл построил граф знаний, 500 миллионов узлов, там триллионы связей. Эти громадные графы знаний как раз сращиваются. Сейчас практически у нас имеется семантическая сеть, которая описывает весь мир. Это используют и GPT-4, и объяснительный ИИ. Т.е. 3-е поколение – это гибридные нейросети плюс модели мира. Они столь большие, что мы потеряли их из вида. Вот эта гибридная система уже не может ошибаться.

**Самсонович А.В.:** По поводу ошибок нейросетей в своё оправдание хочу сказать: возможно, меня не поняли. Когда ошибается нейросеть, я не говорю о любых её ошибках, а вот именно о тех, которые демонстрируют полное непонимание сути предмета. Вот такие ошибки человек не совершает. Вот то, что я хотел сказать.

**Аверкин А.Н.:** У обычной нейросети нет семантики вообще, нет модели мира. У 3-го поколения уже появляется, внешняя, но появляется.

**Карпов В.Э.:** Коллеги, есть ли ещё замечания вот по этому блоку, не природоподобному? Пожалуйста, Александр Павлович.

**Еремеев А.П.:** Я здесь с ведущим, конечно, согласен. Опять-таки в силу своих фундаментальных положений нейронная сеть, конечно, может ошибаться...

Пока ИИ работает в режиме имитации, как говорится: «как робота обучают, так он и танцует, так он и рассуждает». И почему естествоиспытатели считают, что GPT – прекрасная система, а историки говорят, что она чушь выдаёт. Ну, понятно, потому что на чём обучался GPT? Он подключен к битобайтным базам, в основном все библиотеки, базы западные, американские. Понятно, когда ему задают вопрос типа: «А был ли обмен ядерными ударами между США и Советским Союзом?», он говорит: «Да, что-то было». Понятно, чушь. Извините, он на этом обучался. Когда GPT говорит на многих языках прекрасно – английский, французский, но русский язык у него на уровне школьника. Потому что доступ к информации о русском языке у него весьма ограничен.

У меня вопрос вот в чём, Стивен Хокинг говорит: «ИИ, особенно самообучающийся, может достичь такого совершенства, когда он будет считать, что человек с его проблемами, с его непредсказуемостью ему просто мешает». Что потом будет? Кнопка у человека должна быть. Когда ИИ сейчас полностью управляет автоматами, электростанциями и т.д. Вполне возможно, что и кнопка-то не у человека будет...

Как вы относитесь к этой модели? Действительно, не окажется ли, что ИИ будет управлять всем и вся, мы к этому практически идём. Не получится, что такие муравьи вроде нас ему мешают? Что в этом случае будет? Конечно, это далёкое будущее, но всё-таки это тоже проблема, и, когда мы сейчас про этику, мы всё-таки имитируем. Конечно, если человеку дали пощёчину – это совсем другие эмоции, нежели если пощёчину дать роботу. Конечно, можно поставить датчик, положить, что это минус 100, но это имитация. А кто-то сделает плюс, и робот будет доволен, и это имитация. Но, если действительно самообучение, чему он там научится, подключённый ко всем библиотекам и ко всем вопросам, тут может быть вопрос, а не окажемся мы тут лишними?

**Самсонович А.В.:** А Вы не думаете, что человек гораздо опаснее, чем ИИ?

**Еремеев А.П.:** Хотелось бы, чтобы этот вопрос рассмотрели люди, которые с этим работают... Нейронные сети – сейчас ум ИИ. И прогресс видится в самообучающихся моделях, в основном это на базе нейронных сетей.

**Карпов В.Э.:** Да там даже без обучения будет страшно, потому что опять же наш основной предмет или объект для подражания – муравьи. Они чем хороши – мы не решаем проблемы обучения, муравьи не обучаются, им это просто не нужно, а социум существует, свои задачи решает.

120 миллионов лет эволюции привели к тому, что всему, что им нужно, они уже обучились. Вот и всё. А для них условия не меняются в таких широких пределах, когда надо приобретать новые навыки. Это не те пределы изменения среды, в которых требуется приобретение новых навыков. С точки зрения биологии это так.

Дело не в этом, понимаете, с точки зрения технической. Вы, Александр Павлович, создаёте систему, ещё раз повторяю, техническую, которая решает свои задачи, которая представляет собой некую автономную сущность, автономный агент, который должен обладать целостным поведением. Вы ставите для него интеллектуальную или когнитивную настройку системы управления, модель мира. И вы, как технар, понимаете, что она должна быть непротиворечива, чтобы её поведение было устойчиво, чтобы в этой картине мира не было каких-то сущностей трансцендентальных типа человека, который почему-то может вмешаться и нарушить выполне-

ние основной программы. Поэтому в смысле кнопки управления – вы нарушите целостность, ещё раз повторяю, системы управления. Если мы говорим вот о таком действительно совсем предельном случае. Это социум со своими законами, своей моралью. Ещё раз повторяю, что мораль у них, как способ урегулирования конфликтов, вполне себе ничего, с эмоциями, потому что эмоции – это не только человеческое свойство. Это свойство вообще животного, как такового, нормальный регуляторный механизм, так что вся эта атрибутика будет. Будет закон внутреннего существования, восприятия человека как внешнего фактора. Вошёл в картину мира или не фигурирует в ней – это дело десятое. Рассуждать об угрозах, конечно, здорово, но давайте просто будем последовательны. Что мы делаем? Либо ущербную автономную сущность, либо реально что-то интеллектуальное.

**Еремеев А.П.:** Не окажутся ли перспективы развития ИИ в противоречии с нашими моральными принципами. Не сочтёт ли он нас лишними просто в своём развитии?

**Самсонович А.В.:** Извините, но я слушаю сейчас эти высказывания, может быть, с внутренней улыбкой, потому что для меня это просто как голливудские фильмы. Это неактуальный вопрос, потому что, в конце концов, всё решает человек. И ещё долго будет решать всё человек. ИИ сам не будет переделывать мир и решать, оставлять человека или завоёвывать, не будет войны человека с роботами. Не будет этого никогда. Если будет, то, значит, роботы будут управляться другими людьми. В общем, это уже происходит, и тут вопрос не о том, как человек должен противостоять роботу, а как человеческие ценности должны победить в этом противостоянии машинным ценностям.

Ведь понимаете, что происходит? Мы превращаемся уже несколько в другую цивилизацию, другое общество благодаря всем новым технологиям, с другой ментальностью. Многие вещи, которые раньше были абсолютными или же бесценными, отходят на второй план. И борьба, мне кажется, идёт за то, чтобы сохранить наш дух, наши идеалы, наши ценности, наши принципы, как человека, как людей. Т.е. наше понимание морали, наше понимание добра и зла, наши высокие идеалы, если хотите. Вот это нужно каким-то образом перенести в возникающую новую форму жизни, значит нам нужно, чтобы ИИ понимал человека, чтобы он мог чувствовать, мог хотя бы моделировать те самые эмоции, которые испытывает человек, мог общаться с человеком на социальном уровне человека, а не как автомат.

На самом деле я хотел перехватить инициативу в этой дискуссии. И поскольку время всё-таки уже близится к завершению, давайте хотя бы на время переключимся на вопрос о том, а что же вообще такое ИИ? Я так слышу сейчас, что до сих пор 90% говорившегося здесь об ИИ относится к большим нейросетям. Но, если вы возьмёте учебник по ИИ, скажем, 20-ти летней давности, там нейросети занимают маленькую какую-то часть в оглавлении. Вообще, под ИИ люди понимают нечто другое, и это по-прежнему актуально, т.е. когнитивные модели, вся логика, всё что угодно, те же генетические алгоритмы даже. Много есть вещей, которые сейчас отошли на второй план, но они существуют, вот одна из этих вещей – *BICA*, биологически инспирированные когнитивные архитектуры. Я на самом деле оказался здесь только сегодня ночью, потому что провёл очень успешную конференцию *BICA* в Китае. И я хочу использовать мое время для того, чтобы дать слово одному из докладчиков этой конференции. По-моему, это был лучший доклад. Пусть вы услышите не весь его доклад, а только начало, где он формулирует проблемы и задачи. Его понимание может быть отличается от тех вопросов, которые обсуждались здесь сейчас, но больше связано как раз с научными и фундаментально-технологическими вопросами. [Включилось видео. См. <https://www.youtube.com/embed/sZiMjZmG7gQ>].

**Самсонович А.В.:** На этом я хотел бы прервать, потому что лекция очень длинная и трудно выбрать наиболее интересные моменты. Я думаю, вы слышали в начале постановку задачи, каким должен быть агент, какие интеллектуальные задачи он должен решать, это было чётко сказано. Далее он рассматривает, какие пути решения этой задачи существуют, и здесь он говорит о возможности интеграции больших языковых моделей с когнитивной архитектурой. Это как раз главный вопрос в его докладе. Т.е. он рассматривает 4 варианта, я не хочу все их рассматривать, но, скажу то, что наиболее понятно мне.

Большая языковая модель служит как периферийное устройство для когнитивной архитектуры, т.е. она реализует основную когнитивную функцию, а чат *GPT* используют для того, чтобы связать это с естественным языком, выразить на естественном языке и воспринять то, что сказано на естественном языке, перевести на его внутренний язык, вот его роль. Т.е. не нужно придавать очень большое значение (это моя точка зрения), не нужно возлагать очень большие надежды, большие функции давать этим языковым моделям, их место – это периферийное устройство в когнитивных архитектурах. Это одна из возможных точек зрения.

**Карпов В.Э.:** Правда, проблема того же самого *Soar*, когда вы ставите модель мира, вы сталкиваетесь с классической задачей формирования всей этой жуткой сети. Представление всего этого формализма в терминах *Soar* – это очень тяжело. Инструмент, конечно, могучий, но я не знаю. Он разработчик *Soar*?

**Самсонович А.В.:** Он и его создатель.

**Карпов В.Э.:** Лучше бы он сайт поддерживал в порядке с этим продуктом.

**Самсонович А.В.:** Я считаю, что сама когнитивная модель тоже может быть преобразована в нейросеть. Мы сейчас над этим тоже работаем. Но это другая задача. Это не то, что сейчас происходит в мейнстриме.

**Карпов В.Э.:** А что происходит сейчас в мейнстриме?

**Самсонович А.В.:** Ну, смотрите, Вы лучше меня знаете, что сейчас происходит... Вот пример Китая. Я только что приехал оттуда, там – другой мир. У них нет *Google*, у них нет всей технологии *Microsoft* и всего прочего. У них всё своё. Все свои аналоги и ключи. Понимаете? Туда вы приезжаете, у вас компьютер на другом языке говорит с вами. Там другие программы установлены. Всё другое. И вот так они живут.

**Карпов В.Э.:** Алексей Владимирович, насколько я понял вчера из нашей с Вами краткой беседы, что если подытожить китайский путь развития, то это по верхам, но очень модно, очень актуально.

**Самсонович А.В.:** Нет. Я сказал не так. Я сказал они очень хорошие копикаты, очень быстро копируют и повторяют то, что сделано на Западе. Но делают это, конечно, уже у себя и по-своему... Для них то, что было 2 года назад, уже не существует. Это тоже проблема, с моей точки зрения.

**Карпов В.Э.:** А у нас другая крайность.

**Самсонович А.В.:** Да. Но не совсем. Я бы не сказал. С одной стороны, действительно, можно говорить, что в России засилье традиционных школ. Но я уже понимаю, что это не просто те школы, которые были ещё в Советском Союзе. Это просто привычка мыслить по-своему, традиционно. Взять хотя бы область когнитивного моделирования, она гораздо шире, чем семантические сети, онтологии, теория категорий. Возьмите тот же *Soar*. Там уже всё, что угодно, включено. Вообще, когнитивная архитектура выступает как платформа для интеграции разных подходов... Я не могу всех вас переубедить, но даже само слово «*cognition*» всё-таки следует переводить на русский не как «познание», а как «мышление». Ну, вот, собственно, я хочу сказать, что везде свои крайности. В Китае одно помешательство, в России – традиционность мышления, в Америке в науке опять всё стало консервативным, и, в конце концов, идёт к вырождению. Моё мнение, конечно. Но...

**Карпов В.Э.:** Что делать-то?

**Самсонович А.В.:** Да, что делать.

**Мельников А.В.:** А можно вопрос? Я же практик, я не теоретик. Сколько пользователей у *Soar*?

**Самсонович А.В.:** Ой, много. Прежде всего, это военные.

**Мельников А.В.:** Ну, давайте порядок.

**Самсонович А.В.:** Управление дронами, между прочим. Для военных.

**Мельников А.В.:** А в нашей жизни? Мы обычные люди, которые пользуются сотовыми телефонами. А сколько пользователей у *Open AI*?

**Самсонович А.В.:** Вы рассуждаете, как компания Бена Гертцеля: мерой интеллекта является количество денег, которые вы заработали. Но я с этим не согласен.

**Карпов В.Э.:** *Soar* – это нормальное инструментальное средство [, и пользователи у него есть]. Я понимаю, что такой вопрос был не совсем серьёзным. Нет, на самом деле просто наболело с этим *Soar*. Когда начали с ним работать, всё было хорошо, даже какую-то статью написали, опубликовали. Это было прекрасно. Начали разбираться, но это просто тяжело, неудобно.

**Самсонович А.В.:** *Soar* – это вчерашний день, понимаете? О нём уже можно забыть. Сейчас речь идёт о других совершенно моделях.

**Вохминцев А.В. (ЧелГУ):** Послушал некоторые Ваши тезисы, и, в принципе, с ними согласен, поскольку, на самом деле вот тот процесс познания и мышления гораздо сложнее, естественно, чем это делают нейросетевые архитектуры. Т.е. это, вообще говоря, сложнейшие системы и целеполагание, даже какие-то эмоции, другие чувства, они, вообще говоря, принципиально влияют на процесс получения нового знания и мышления. Если бы на сегодняшний день на территории России мы захотели бы провести такую конференцию, либо в рамках конференции по ИИ, мы бы смогли такую секцию сформировать?

**Самсонович А.В.:** Во-первых, у нас уже была *BICA*, в 2017 г., в Москве. И, кстати, очень успешная. Во-вторых, сейчас в Россию никто не поедет...

**Вохминцев А.В.:** Те задачи, которые вы ставите, наверное, самые важные в ИИ. А места им на этой конференции не нашлось. Это было бы, конечно, очень полезно.

**Самсонович А.В.:** Ну вот сейчас же нашлось немного места.

**Вохминцев А.В.:** Да, спасибо.

**Карпов В.Э.:** Ну, коллеги, какие ещё соображения? Кто за чат, кто против?

**Алексеев П.Н. (Военная академия Генерального штаба):** На вопрос, каким быть ИИ. Наверное, надо понимать, к чему мы можем прийти, развивая ИИ. Я не так давно начал заниматься проблематикой. Я не хочу уходить в глубину когнитивных моделей, нейромоделей. Я хочу в целом. Я понимаю, что идёт некое объединение, где-то разъединение. Это эволюция определённая. Рано или поздно появится что-то новое. Уйдём от консерватизма, придём к каким-то другим вещам.

Вместе с тем, каждый, наверное, сам для себя отвечает на вопрос: каким ему быть? Наверное, таким, каким мы хотим его видеть. Какая цель ИИ для человека? Здесь звучали фразы, что это ассистент, помощник и т.д. В военной сфере так или иначе ИИ не может принимать решения, потому что ответственность за принятие решения велика. Поэтому однозначно, что это ассистент, советчик. Вместе с тем, от результата применения ИИ человек становится зависимым...

Теперь, переходя от этой зависимости в работу органа военного управления, принимающего военные решения. Не надо системе давать право принимать решения. Достаточно, чтобы ИИ дал совет. Сказал, что вот, товарищ, если ты не нажмёшь на кнопку, значит, будет то-то. Если ты нажмёшь на кнопку чуть позже, ты проиграешь. Ну, [и прочие такие] страшилки.

**Самсонович А.В.:** Простите, пожалуйста, роботы принимают решения на поле боя.

**Алексеев П.Н.:** Я сейчас не о роботах. Потому что в вопросах управления в военном деле есть два основных направления: управление оружием, которое базируется на теории автоматического управления, и управление войсками, там, где люди управляют людьми или группой людей. Вот роботы – это задачи управления оружием. Здесь есть прогресс, здесь есть наработки и т.д.

В вопросах управления войсками сейчас большая яма. Нет ни концепции, ни реализации удачных [систем, которые принимают решения]. Но рано или поздно это появится. К чему это приведёт? А это приведёт к тому, что рано или поздно система выдаст человеку маленькую ошибку, за которую будет отвечать всё человечество. Ну и как бы как пессимистично это ни смотрелось, на мой взгляд, развитие ИИ – это очередной шаг человечества к своему самоуничтожению. Спасибо.

**Самсонович А.В.:** Или к выживанию.

**Кузнецов О.П. (ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова):** Я хотел бы сказать вот о чём. Об этом говорят очень мало, хотя исследования уже есть. Вот известно, что на пути развития обучающих систем, систем машинного обучения, возникает такое обстоятельство, как расход ресурсов, расход энергии. И постепенно это принимает характер некоторой проблемы. Например, известные исследования где-то 22-го года, где эмпирически показывается при обследовании пары сотен систем распознавания, синтеза речи в тех областях, где действительно обучающие системы имеют большие успехи, исследователи выявили зависимость порядка полинома четвёртой степени. Т.е. рост качества решения задачи вызывает расход в четвёртой степени ресурсов. И помимо расхода электричества, энергии, воды, который измеряется тоннами для охлаждения, это вычислительные мощности.

Два вопроса. Один совсем конкретный: актуально ли это для интеллектуализации робототехники? Сейчас или в ближайшем будущем? И вопрос совсем общий, на который я не ожидаю ответа: а может быть цифровой путь вообще имеет свои принципиальные ограничения? Ведь наш мозг, который работает в миллион раз медленнее электроники, до сих пор эту электронику во многом превосходит. За счёт чего? Я думаю, в значительной степени за счёт того, что он не цифровой, а аналоговый. Это вопрос, который повисает в воздухе, но задать его, наверное, надо было.

**Самсонович А.В.:** Ничего не повисает, его можно смоделировать на цифровом компьютере, сохранив всю функциональность...

**Кузнецов О.П.:** За счёт каких ресурсов?

**Самсонович А.В.:** Тех самых, которые есть сейчас, это моделирование проводится давным-давно.

**Кузнецов О.П.:** Ведь все ресурсы мозга они в голове в очень небольшом объёме. Какой-нибудь *Watson* занимает больше десятка серверов.

**Самсонович А.В.:** Наоборот, я бы сказал, что пример мозга как раз доказывает, что возможен более эффективный ИИ. Что такое мозг? Это та же нейросеть, по сути. На других принципах, но это нейросеть импульсная. Она потребляет 20 Вт энергии. Сравните с гигаватами, которые сейчас нужны для обучения. Есть над чем работать.

**Карпов В.Э.:** Подождите. Кстати, по поводу энергозатрат, я помню, кто-то посчитал, что один запрос гугловского плана обходится примерно в столько энергии, сколько достаточно для того, чтобы вскипятить чайник воды. Это дорого, конечно. Но, Олег Петрович, это просто удобный инструмент. Я не хочу сидеть с паяльником и делать аналоговые схемы. Мне нужно быстрое моделирование. Я трачу на это много сил. Когда модель будет зафиксирована, я буду не программу писать дальше, а буду реализовывать это в виде схмотехнического решения, гораздо более энергоэффективного. Всё вполне естественно.

Вы же пока не можете договориться, как должна выглядеть модель мозга. Как договоритесь, так и перенесём с компьютеров на что-то ещё. Так что куда здесь деваться? По бедности или по лености.

Так, коллеги, ещё кто-то хочет сказать о наболевшем? Мы ответили на вопрос, каким будет ИИ следующего поколения?

**Самсонович А.В.:** Я думаю, что никто не знает сейчас ответа, но мы можем предложить какие-то гипотезы хотя бы.

**Карнов В.Э.:** И резолюцию какую-то подписать, да?

**Самсонович А.В.:** Да, но в моём понимании, это всё-таки должен быть функционально-человекоподобный автономный агент, общающийся с человеком на социальном уровне. Его не нужно будет программировать, ему достаточно будет объяснить, что вы от него хотите. Вероятно, на естественном языке. Ну, что касается формы его воплощения, тут возможны различные варианты. Глядя на молодёжь, как они любят всё время крутить эти мобильные телефоны (и старики, кстати, тоже), я предвижу, что устройства станут ещё более мобильными, ещё более портативными. Возможно, это будут очки, возможно, в конце концов, это будут импланты. Но это уже тяжело принять, что мы вынуждены будем делать себе импланты. Скорее всего, вначале появится что-то вроде очков с распознаванием движения рук для печатания на виртуальной клавиатуре, например, да? Я не знаю. Но это уже детали.

**Карнов В.Э.:** Два часа сидели, но так и не договорились окончательно?

**Карнова И.П. (НИУ ВШЭ):** На самом деле была такая интересная дискуссия, и очень не хочется, чтобы было такое послевкусие: «Мы идём к краху». Давайте рассматривать это по-другому. Сколько технологических революций пережило человечество? Да, станки ломали, какой кошмар – раньше все были обеспечены работой, теперь появились станки, и все останутся без работы.

И по поводу зависимостей. Да, мы зависим от смартфонов, но мы точно так же зависим от электричества, от канализации, простите, от водопровода. Нет горячей воды в кране – кошмар! Холодильник сломался – жизнь закончилась! Поэтому смартфон – это не самое страшное, ИИ – это не самое страшное. Давайте будем считать всё-таки, что это положительное направление развития человечества. Мы расширяем свои возможности, расширяем горизонты, и, в конце концов, мы перейдём не к самоуничтожению, а к появлению дополнительных возможностей у человека с точки зрения интеллекта, и с точки зрения появления новых ярких впечатлений, и исследования окружающей нас природы. Спасибо.

**Карнов В.Э.:** Спасибо. На этой оптимистической ноте, пока не наговорили всяких ужасов про то, как нас поработят, наверно, закончим. Коллеги, большое спасибо.

Пойдёмте фотографироваться!

**P.S.**

Всегда интересно сравнить дискуссии и их результативность.

Читатель имеет возможность ознакомиться с прошедшей 15 февраля 2024 года дискуссией на Радио Давос Всемирного экономического форума на близкую тему:

#### Что дальше с генеративным ИИ?

Три пионера ИИ, входящие в Топ-100 самых влиятельных людей в области ИИ по версии *Time*, делятся своими взглядами на прошлое, настоящее и будущее этой трансформационной технологии

(ведущий *Radio Davos* Робин Померой)

*Эйден Гомес*, соучредитель и директор *Cohere*

*Мустафа Сулейман*, соучредитель и директор *Inflection AI*

*Ян ЛеКун*, главный специалист по ИИ, американская транснациональная холдинговая компания

«Это будет самый преобразующий момент не только в технологиях, но в культуре и политике за всю нашу жизнь».

Почитать стенограмму здесь: <https://www.weforum.org/podcasts/radio-davos/episodes/davos-2024-generative-ai-pioneers/>

Послушать здесь: <https://open.spotify.com/episode/71NQHrZmWMrLhBtbR2Qyco>

#### What's next for generative AI?

Three AI pioneers, all of them in *Time's* Top-100 most influential people in AI, share their views on the past, present and future of this transformational technology.

*Robin Pomeroy*, host *Radio Davos*

*Aiden Gomez*, Co-Founder and CEO, *Cohere*

*Mustafa Suleyman*, Co-Founder and CEO, *Inflection AI*

*Yann LeCun*, Chief AI Scientist, American multinational holding company

«This is going to be the most transformational moment, not just in technology, but in culture and politics of all of our lifetimes»

## Ontology Summit 2024

Схожие проблемы начали обсуждаться и на Онтологическом саммите 2024. Первые заседания состоялись 21 и 28 февраля 2024 года. Всего запланировано 14 заседаний до 22 мая, где будет сформировано Коммюнике по теме: «**Neuro-Symbolic Techniques for and with Ontologies and Knowledge Graphs**»

The website for the Ontology Summit 2024 is available at <https://ontologforum.com/index.php/OntologySummit2024>

Индекс 29151

**LI** *exitus*  
*magazine*

**“ ONTOLOGISTS  
AND DESIGNERS  
OF ALL COUNTRIES  
AND SUBJECT AREAS,  
JOIN US! ”**



<https://www.ontology-of-designing.ru/>