

# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ontology of Designing - vol 12 N 3 2022 - Онтология проектирования

Научный журнал - Scientific journal



Передовые  
инженерные  
школы



Vol 12  
N 3  
2022

Scientific journal

Volume 12

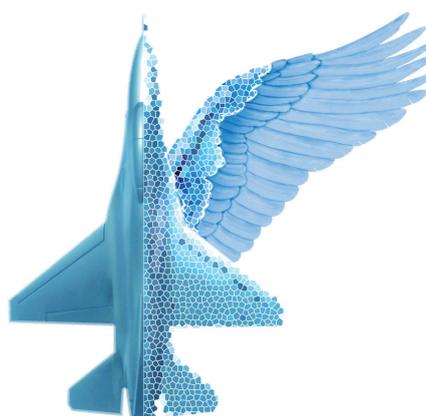
№ 3

**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

Том 12

№ 3



## Editorial Board - Редакционная коллегия

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

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

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

## Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОТ РЕДАКЦИИ

Игры терминов и ловушки Фукидида 273-277

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

**Н.М. Боргест** 278-298

Проблемы разработки и развития онтологии науки: анализ классификаций

**Г.Ф. Ахмедьянова, А.М. Пищухин** 299-309

Онтологический анализ проекта передовой инженерной школы

### ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**А.А. Тимошенко, А.В. Зуев, Э.Ш. Мурсалимов, В.В. Грибова, А.В. Инзарцев** 310-324

Описание и диагностирование неисправностей в автономных необитаемых подводных аппаратах на основе онтологий

**С.С. Сосинская, И.Д. Сивушков, Д.А. Дубинин, А.С. Дорофеев** 325-335

База знаний о состоянии здоровья обучающихся и клиентское приложение для взаимодействия с пользователем

### ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

**Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин** 336-352

Подход к автоматизированному наполнению графов знаний сущностями на основе анализа таблиц

**И.А. Куликов, Н.А. Жукова** 353-366

Интеграция телекоммуникационных сетей в системе мониторинга с использованием доменных онтологий

### МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**Н.О. Никулина, А.И. Малахова, В.И. Баталова, О.В. Бармина** 367-379

Методика каскадирования целей в проектно-ориентированной компании

**С.В. Микони** 380-392

Методика построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта

**А.А. Павлов** 393-404

Конструкторско-технологическое проектирование деталей из слоистого тканевого композита

**С.С. Акимов, Б.К. Жумашева** 405-417

Построение карт потока создания ценности на основе онтологического подхода

**Рекомендованные издания 2021-2022** 418-419

**Поспеловские чтения 2022, КИИ-2022** 420

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/).

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



### Контакты учредителей

ФИЦ Самарский научный центр РАН: 443020, Самара, ул. Садовая, 61, тел./факс.: +7 (846) 333 27 70, Смирнов С.В., smimov@iccs.ru.

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

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

## CONTENTS

### EDITORIAL

- Games of terms and Thucydides' traps 273-277

### GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS

- N.M. Borgest** 278-298  
Development problems of ontology of science: Classification analysis
- G.F. Akhmedyanova, A.M. Pishchukhin** 299-309  
Ontological analysis of the advanced engineering school project

### APPLIED ONTOLOGIES OF DESIGNING

- A.A. Timoshenko, A.V. Zuev, E.S. Mursalimov, V.V. Gribova, A.V. Inzartsev** 310-324  
Description and diagnosis of malfunctions in autonomous uninhabited underwater vehicles based on ontologies
- S.S. Sosinskaya, I.D. Sivushkov, D.A. Dubinin, A.S. Dorofeev** 325-335  
Knowledge base on the health status of students and a client application for user interaction

### ONTOLOGY ENGINEERING

- N.O. Dorodnykh, A.Yu. Yurin** 336-352  
An approach for automated knowledge graph filling with entities based on table analysis
- I.A. Kulikov, N.A. Zhukova** 353-366  
Integration of telecommunication networks in monitoring system using domain ontologies

### METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

- N.O. Nikulina, A.I. Malakhova, V.I. Batalova, O.V. Barmina** 367-379  
A Goals Cascading Methodology in Project-oriented Company
- S.V. Mikoni** 380-392  
Methodology for creating a multilevel model for evaluating a complex object
- A.A. Pavlov** 393-404  
Technological design of parts using layered fabric composite
- S.S. Akimov, B.K. Zhumasheva** 405-417  
Value stream maps development based on the ontological approach

- Recommended Books 2021-2022** 418-419

- Pospelov Lectures 2022, AI Conference-2022** 420

---

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/)

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

## Игры терминов и ловушки Фукидида Games of terms and Thucydides' traps

«...вопросы о названии встречаются так часто, что если бы среди философов навсегда установилось согласие относительно значения слов, то почти все их споры были бы прекращены<sup>1</sup>»

*Рене Декарт*

«Вокруг искусственного интеллекта складывается очень тревожная структура знаний и компетенций... Самая главная здесь опасность – цивилизационно-образовательная<sup>2</sup>»

*Д.А. Новиков, академик РАН*

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



*Рене Декарт (1596-1650)*

В традициях нашего редакционного послания вспоминать героев прошлого, внёсших значительный вклад в становление науки, в формирование современного представления о мироздании, о процессах, происходящих в эволюционирующем обществе и его производном – культуре, языке, науке, технике, технологиях. Уже не раз на страницах журнала цитировали<sup>3</sup> слова французского философа, математика и естествоиспытателя Рене Декарта о важности точного определения значения терминов, об однозначном понимании их содержания<sup>4</sup>. Сам же перевод и цитирование этой кажущейся всем очевидной мысли в разных источниках отличается, при том, что смысл передаётся и остаётся тем же. Т.е. слова и их сочетания (термины) используются различные<sup>5</sup>, а смысл, который стремились передать его интерпретаторы, сохраняется прежним. Этот пример толкований высказанной мысли показателен для случая, когда текст вторичен, а первичен контекст, т.е. передача смысла. Важный посыл Декарта - «если философы согласятся относительно значения слов» - объективно трудновыполним, т.к. у каждого исследователя своя история, свой опыт, своя культурная, образовательная, научная среда и обычаи, свои взгляды и ценности, своё наполнение и содержание используемых слов даже в близких предметных областях (Про) и ситуациях.

Модный сегодня термин искусственный интеллект (ИИ) также является предметом дискуссий, споров и противоположных утверждений, по нему нет финального согласия, хотя уже десятилетия проводятся научные конференции и читаются учебные курсы по ИИ, существуют ассоциации исследователей ИИ в разных странах, разрабатываются стандарты и стратегии его развития<sup>6</sup>. Всплеск интереса к ИИ проявился в последние годы в связи с явны-

<sup>1</sup>*René Descartes: Regulae ad directionem ingenii, 1628 / Рене Декарт: Правила для руководства ума. Перевод с латинского М.А. Гарнцева // Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т.1. М., «Мысль», 1989. <https://gtmarket.ru/library/basis/3958>.*

<sup>2</sup>Вокруг искусственного интеллекта складывается очень тревожная структура знаний и компетенций, – академик Новиков. 26 июля 2022. <https://new.ras.ru/mir-nauky/news/vokrug-iskusstvennogo-intellekta-skladyvaetsya-ochen-trevozhnaya-struktura-znaniy-i-kompetentsiy-aka/>.

<sup>3</sup>[https://www.ontology-of-designing.ru/article/2013\\_3\(9\)3\\_Borgest.pdf](https://www.ontology-of-designing.ru/article/2013_3(9)3_Borgest.pdf).

<sup>4</sup>[http://www.ontology-of-designing.ru/article/2015\\_4\(18\)1\\_FROM\\_THE\\_EDITORS.pdf](http://www.ontology-of-designing.ru/article/2015_4(18)1_FROM_THE_EDITORS.pdf).

<sup>5</sup>«(Верно, точно) определяйте (уточните) (значения) слова (слов), и вы (освободите) избавите человечество (мир, свет) от половины недоразумений (заблуждений)». Или: «Люди избавились бы от половины своих неприятностей, если бы смогли договориться о значении слов». Более точная цитата дана в эпиграфе.

<sup>6</sup>*Боргест Н.М. Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться. Онтология проектирования. 2019. Т.9, №4(34). С.407-428. DOI:10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.*

ми успехами применения методов машинного обучения в некоторых ПрО, где накопились огромные массивы размеченных данных. Обработка этих данных порой даёт значительные результаты, что стало восприниматься многими, особенно молодыми исследователями, как то, что это и есть ИИ, игнорируя результаты, достигнутые в прошлые годы, по созданию систем на основе логического, символического ИИ.

«Статисты» (специалисты по машинному обучению разной глубины, статистической обработке подготовленных данных) и «символисты» (специалисты логического, символического, семиотического, содержательного моделирования) в своих отношениях демонстрируют то, что хорошо описал древнегреческий историк, основатель исторической науки Фукидид в своём фундаментальном труде «История Пелопоннесской войны»<sup>7</sup>. Он описал войну, которая изрядно ослабила два ведущих города-государства классической Греции две с половиной тысячи лет назад, и объяснил, что именно возвышение Афин и страх, который это возвышение внушало Спарте, сделали войну неизбежной.

С лёгкой руки американского политолога Грэхэма Аллисона, автора опубликованной в 2017 году книги «Обречены воевать. Могут ли Америка и Китай избежать ловушки Фукидида?»<sup>8</sup>, термин «ловушка Фукидида» (англ. *Thucydides's trap*) стал очень популярен в последние годы. Например, сейчас этот термин используется для описания потенциального конфликта между США и Китайской Народной Республикой<sup>9</sup>. Ловушка Фукидида характеризует естественное и неизбежное напряжение отношений, которое возникает, *когда новая сила угрожает вытеснить правящую*. Это возможно в любой сфере деятельности, в т.ч. в вербальной среде, где проникновение и насаждение слов, терминов и целых языков сопровождается не только дискуссией, но серьёзными баталиями и даже войнами.



Фукидид (460-400 до н.э.)

Сегодня увлечённые «статисты» (Афины) не желают найти согласия с «символистами» (Спарта), нет консенсуса в толковании ИИ, нет совместного поиска путей сотрудничества, идёт борьба за инвестиции на развитие ИИ; в конференциях, организуемых приверженцами этих моделей ИИ, нет упоминания о параллельных направлениях. Это естественный, объективный и эволюционный процесс, который в реальной, живой, конкурентной среде, не без потерь, но, в конечном итоге, выстроит согласие, о котором говорил и мечтал Рене Декарт. Ведь истина объективна, и она всегда себя проявит («Ищущий, да обрящет»).

Категоричен в своей оценке академик РАН Д.А. Новиков<sup>2</sup>, считая ИИ «очень вредным термином, потому что для обывателей он создаёт иллюзию действительно чего-то сравнимого с человеком. Определений ИИ тысячи, но, если взять нормативный документ правительства, программу по развитию ИИ, то там сказано, что ИИ – это нечто, имитирующее деятельность человека. Определение очень туманное, и нет чётких границ, что относить к ИИ».

«ИИ весьма эклектичная область знаний, развивающаяся скачками, и каждый из этих скачков сопровождается завышенными ожиданиями, которые сменяются разочарованиями. Искусственные нейронные сети не используются в системах управления критически важными объектами, потому что никто не может гарантировать, что система управления не выведет этот объект за границы допустимой области. Именно поэтому нейронных сетей нет в авиации, на атомных станциях, во многих производственных системах»<sup>2</sup>. Более того, при всех выдающихся результатах, которые получены с помощью обученных систем *GPT-3*, *AlphaFold*, *DALLE-2* и др., не-

<sup>7</sup>The History of the Peloponnesian War. By Thucydides. Written 431 B.C.E. Translated by Richard Crawley. <http://classics.mit.edu/Thucydides/pelopwar.2.second.html>.

<sup>8</sup>Грэхэм Аллисон. Обречены воевать. DESTINED FOR WAR. Перев. В. Желнинов. М.: Изд. АСТ, 2019. 416 с.

<sup>9</sup>Николай Проценко. Что такое «ловушка Фукидида»: проиграет ли США Китаю как швед под Полтавой. 27.05.2020 (обновлено: 13.07.2022). <https://ukraina.ru/20200527/1027819327.html>.

Шалак А.В. Американско-китайское противостояние с позиций "Ловушки Фукидида". Российско-китайские исследования. 2021. №2. С.110-118. <https://cyberleninka.ru/article/n/amerikano-kitayskoe-protivostoyanie-s-pozitsiy-lovushki-fukidida>.

Дмитрий Ефременко. Двойная ловушка Фукидида. Россия в глобальной политике. №4 2020 Июль/Август 08.07.2020. <https://globalaffairs.ru/articles/dvojnaya-lovushka-fukidida/>.

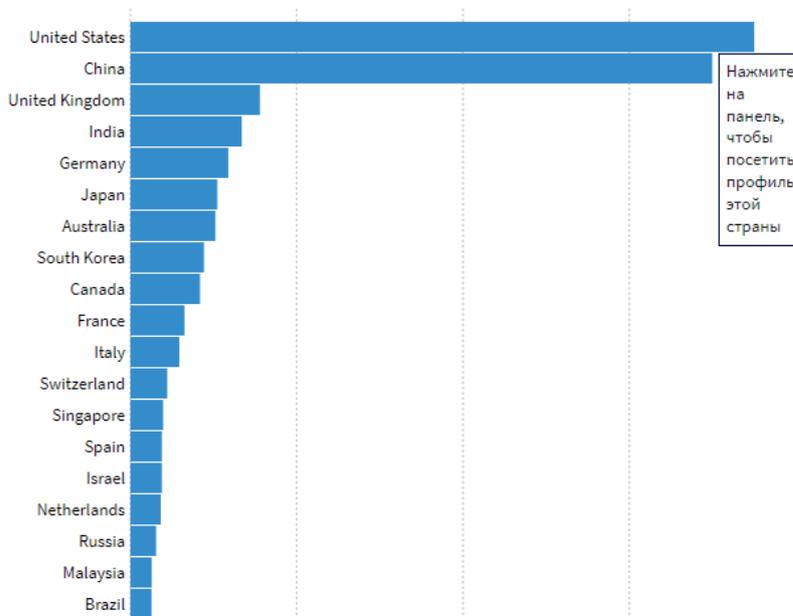
удачи других «обученных» систем с ИИ породили обидное для них название как технологические<sup>10</sup> или стохастические<sup>11</sup> *попугаи*...

Стоит отметить, что в новой номенклатуре научных специальностей ВАК<sup>12</sup> к традиционной специальности для работ по ИИ «Системный анализ, управление и обработка информации» добавились новые специальности «Искусственный интеллект и машинное обучение», «Когнитивное моделирование», «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования», которые расширяют спектр областей разработки ИИ и дают надежду на приток работ в этой бурно развивающейся области в т.ч. и в России.

Обсуждая тему ИИ, нельзя обойти публикации международных рейтингов ИИ, в частности *AI Index* — инициативу Стэнфордского института ИИ, в котором группа экспертов из академических и отраслевых кругов готовит аналитические отчёты по ИИ<sup>13</sup>. Последнее издание включает анализ данных о различных организациях, технических характеристик систем ИИ, опроса исследователей робототехники, данных об этике и о законодательстве по ИИ. Главные выводы в отчёте за 2022 год:

- частные инвестиции в ИИ резко выросли (в 2021 году составили более \$90 млрд США, что вдвое превышает общий объём частных инвестиций в 2020 году);
- США и Китай доминируют в области ИИ;
- исследования в области честности и прозрачности ИИ резко возросли (за последние годы количество соответствующих публикаций увеличилось в пять раз);
- ИИ становится более доступным и более эффективным;
- активно разрабатывается законодательство по ИИ;
- дешевеет роботизированное оружие.

Разработан инструмент оценки глобальной динамики ИИ<sup>14</sup>. *Global AI Vibrancy Tool* — это интерактивная визуализация, которая позволяет проводить сравнения для 29 стран по 23 показателям. Инструмент обеспечивает оценку относительного положения стран на основе предпочтений пользователей; определяет соответствующие национальные показатели для определения приоритетов политики на уровне стран; показывает местные центры передового опыта в области ИИ. К сожалению, этот инструмент отводит не столь почётное место нашей стране, что требует от тех, кто занимается этой перспективной областью, существенных усилий, чтобы быть не догоняющими, а лидировать в гонке за ИИ.



Сравнение индексов в исследованиях и разработках по ИИ, 2021 год<sup>14</sup>

<sup>10</sup>Tom Farrand. A 6-Minute Introduction to Causal AI. Quickly gain an understanding of how modern AI systems fail, and how causality can help. Aug 19. 2022. <https://towardsdatascience.com/a-6-minute-introduction-to-causal-ai-50d92ffb5e91>.

<sup>11</sup>Emily M. Bender, Timnit Gebru, Angelina McMillan-Major, Shmargaret Shmitchell. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? FAccT '21: Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. March 2021 P.610–623. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>.

<sup>12</sup>Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 N 118 (ред. от 11.05.2022) "Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утверждённое приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 г. N 1093".

<sup>13</sup>*AI Index Report 2022*. 230 p. [https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2022/03/2022-AI-Index-Report\\_Master.pdf](https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2022/03/2022-AI-Index-Report_Master.pdf).

<sup>14</sup>*Global AI vibrancy tool. Who's leading the global AI race?* <https://aiindex.stanford.edu/vibrancy/>.

Наряду с понятием «ИИ», также широкое и небесспорное толкование представляют важные для нашего журнала термины: *проектирование* как процесс создания образа (модели, рабочей документации) будущего артефакта; *проектные процедуры*; *проектные операции*. Множество действий, выполняемых при проектировании, декомпозируется на стадии (этапы) проектирования, которые в свою очередь подразделяются на составные части, называемые проектными задачами, процедурами и операциями. *Проектная процедура* – это совокупность проектных операций, выполняемых по определённому алгоритму. *Проектная операция* – это наименьшая часть, блок элементарных действий, нацеленных на получение лишь одного результата. У технологов, в отличие от проектантов, содержание *операции* трактуется не столь широко, и можно заметить ускользающую определённость. В частности, это законченная часть (стадия) технологического процесса, характеризующаяся однородностью действий, производимых над предметом производства, и в связи с этим, сосредоточенностью, как правило, в пределах одного рабочего места, одного механизма, одной операционной зоны технологического объекта управления<sup>15</sup>.

Термин *операция* используется в различных ПрО, хорошо известен он у медиков и военных, а сейчас он у всех «на слуху». Операция, обозначенная как специальная, мало добавляет содержания, т.к. не атрибутирована ни по конкретным действиям, ни по времени, неясен и ожидаемый результат и его последствия. Стоит отметить, что в религиях, церковных, армейских и властных Уставах используется понятие «вера» как способ устранения отсутствия знаний, ухода от объяснений и аргументации или принятия навязанного мнения или суждения о понятиях, выгодного устроителям Уставов. Очевидно, что для науки такой подход не приемлем... Не всё сразу открывается пытливому уму, поэтому все в ожидании развязки и прояснения ситуации, когда в онтологическом смысле вещи (*things*) будут иметь свои имена.

О важности различия терминов, их определений и понятий активно ведутся споры в научных кругах (см. например, дискуссию на онтологическом форуме, где обсуждается определение термина «*service*»<sup>16</sup>). Достоин внимания взгляд старшего онтолога компании *SemanticArts* Майкла Ушолда<sup>17</sup> на важность различения терминов и понятий при построении корпоративных онтологий для корпоративных клиентов. Рекомендации М. Ушолда имеют следующий вид.

- 1) *Не позволяйте терминам мешать.* Некоторые термины настолько широки и используются по-разному (например, «крик», «процесс», «контроль»), что даже небольшая группа людей не может договориться о едином их значении и определении.
- 2) *Сначала сосредоточьтесь на концепциях, а затем на терминах.* При моделировании на языке онтологии, особенно на ранних стадиях её создания и развития, термины не оказывают никакого влияния на семантику, логику и поведение вывода онтологии.
- 3) *Определите основные понятия.* В любой ПрО есть группа ключевых понятий, от которых зависит почти всё остальное. Идентификация этих понятий - основа для построения остальной части онтологии.
- 4) *Хорошие термины важны для социализации онтологии.* Термины имеют огромное значение для преодоления проблемы обучения и понимания онтологии другими людьми. Запутанная и непоследовательная терминология усугубляет проблему, что, в свою очередь, затрудняет удобство использования.
- 5) *Текстовые определения важны для социализации онтологии.* Текстовые определения в развитии онтологии играют более важную роль, чем термины, т.к. текстовые определения — это способ, с помощью которого заинтересованным сторонам сообщается, что концепции поняты.
- 6) *Определения важнее терминов.* Хотя термины менее важны, чем понятия, и ничего не значат с точки зрения формальной семантики, они очень важны для социализации онтологии. То же самое верно и для текстовых определений. Текстовые определения помогают человеку получить лучшее представление о пред-

<sup>15</sup> СБЦП 81 - 2001 – 22. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). Москва. 2016.

<sup>16</sup> JOWO-2.definition of "service".

[https://groups.google.com/g/ontolog-forum/c/c0Q6cSJZpiA/m/7XjgOUhcBQAJ?utm\\_medium=email&utm\\_source=footer&pli=1](https://groups.google.com/g/ontolog-forum/c/c0Q6cSJZpiA/m/7XjgOUhcBQAJ?utm_medium=email&utm_source=footer&pli=1).

<sup>17</sup> Michael Uschold. The Importance of Distinguishing between Terms and Concepts. August 22, 2013. TheWhiteboard.

<https://www.semanticarts.com/the-importance-of-distinguishing-between-terms-and-concepts/>.

полагаемой семантике термина, даже для тех, кто предпочитает принимать аксиомы. Для тех, кто интересуется аксиомами, текст помогает прояснить смысл и позволяет выявить ошибки в аксиомах.

Здесь уместно вспомнить и героя нашего сегодняшнего обращения - Рене Декарта<sup>18</sup>, - его лаконичные рассуждения о методе, которые он свёл к простым четырём правилам:

- 1) никогда не принимать за истинное ничего, что не признал бы таковым с очевидностью;
- 2) делить каждую из рассматриваемых трудностей на столько частей, сколько потребуется, чтобы лучше их разрешить;
- 3) располагать свои мысли в определённом порядке, начиная с предметов простейших и легко познаваемых, и восходить до познания наиболее сложных;
- 4) делать всюду перечни настолько полные и обзоры столь всеохватывающие, чтобы быть уверенным, что ничто не пропущено.

Заявленную тему «игры терминов» не следует рассматривать как «игру слов» (каламбур), а скорее как полисемию в сочетании с неопределённостью содержания понятий и терминов, их обозначающих. Тема актуальна для онтологии, для описания ПрО, для создания систем коммуникации, систем с ИИ. А выход из ловушки Фукидида видится в коллаборации, сотрудничестве, в диалоге, в уступках, компромиссе и консенсусе.

## В номере

В этом номере журнала статьи авторов из Владивостока, Иркутска, Лондона, Москвы, Оренбурга, Самары, Санкт-Петербурга и Уфы, которые представляют 17 ведущих университетов, академических институтов и компаний страны и мира.

Открывают номер журнала постановочные статьи. Одна посвящена проблеме построения онтологии науки и анализу новой номенклатуры научных специальностей ВАК, другая - модной теме передовых инженерных школ (ПИШ), которую развивает Минобрнауки России, приступив к финансовой поддержке ПИШ. Традиционно сильные работы коллег из Владивостока в области медицинской диагностики на основе онтологий расширили спектр исследуемых ПрО и представили результаты создания онтологий для диагностики подводных аппаратов. ПрО коллег из Иркутска косвенно связана со здоровьем студентов, а разработанное клиентское приложение ориентировано на сотрудников кафедры физической культуры. В работе коллег из академического института Иркутска предлагается автоматизировать процесс извлечения конкретных сущностей из табличных данных для последующего наполнения целевого графа знаний, а исследователи из Санкт-Петербурга предложили алгоритм сопоставления классов доменных онтологий с компонентами моделей телекоммуникационных сетей. Коллаборативный авторский состав из Лондона, Москвы и Уфы предложил методику каскадирования целей в проектно-ориентированной компании, а профессор С.В. Микони из Санкт-Петербурга - методику построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта. Работа из Самары является развитием опубликованных в нашем журнале концепций профессора В.А. Комарова о «точном проектировании» сложных объектов. Совершенствованию методики построения карт потока создания ценности на основе онтологического подхода посвящена работа авторов из Оренбурга.

Наш журнал по-прежнему остаётся местом для научных дискуссий.

Мы ждём новых интересных результатов исследований, критического анализа и развития уже опубликованных работ.

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

<sup>18</sup>Рене Декарт. Рассуждение о методе, чтобы верно направлять свой разум и отыскивать истину в науках. - Перевод на русский язык Г. Г. Слюсарева и А. П. Юшкевича. // Рене Декарт. Сочинения в 2 т. Т.1. М.: Мысль, 1989.

René Descartes. Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la Vérité dans les sciences. Leiden, 1637.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.8:001

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-278-298



### Проблемы разработки и развития онтологии науки: анализ классификаций

© 2022, 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

Существующие классификации науки отличаются разнообразием в подходах. Очередная смена номенклатуры научных специальностей, представленная Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и нерешённость проблемы «упрощения процедуры внесения в неё изменений и дополнений» определили актуальность темы, затрагиваемой в статье. Рассмотрены рекомендации ВАК по разработке номенклатуры и паспортов научных специальностей. Отмечены усилия ВАК по сокращению научных специальностей, их обобщению с целью снизить бюрократические преграды при квалификационной оценке соискателей учёных степеней на стыках областей знаний. Рассмотрены количественные результаты научных достижений за последнее десятилетие в форме представленных к защите диссертаций по различным отраслям науки. Доминирование технических и медицинских наук ожидается, при этом можно отметить всплеск достижений в экономических и политических науках, который наблюдался особенно в 2013-2018 годы. Научные достижения соискателей в физико-математических, филологических и биологических науках стремятся не отстать от лидеров. Представлен анализ номенклатуры научных специальностей: названий, паспортов, направлений исследований. Проведён частотный анализ терминов, используемых в паспортах научных специальностей, осуществлена количественная оценка заявленных направлений исследований научных специальностей и используемых слов при их описании. Выявлено существенное различие в подходах при описании направлений исследований научных специальностей и значительное количественное отличие. В качестве примера приведён анализ социально-гуманитарной области науки, включающей наибольшее количество отраслей наук. Автор полагает, что разработка онтологии науки может стать тем самым «правовым механизмом» актуализации номенклатуры, который позволит ВАК добиться поставленной цели.

**Ключевые слова:** системный анализ, классификация науки, номенклатура, научная специальность, направление исследований, онтология.

**Цитирование:** 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.

**Благодарности:** автор выражает искреннюю благодарность своим друзьям и коллегам из Новосибирска за предоставленную возможность провести исследование с помощью программных комплексов *Words Finder* (программный комплекс для построения терминологических словарей, руководитель Ю.А. Загоруйко) и *KLAN* (программный комплекс для создания предметных словарей, руководитель Е.А. Сидорова).

**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

Рассматривая в предыдущей статье онтологию научного направления и онтологию проектирования научного направления, автор затронул вопрос эволюции классификации научного знания [1]. Классификация наук имеет долгую историю [2] и продолжает занимать умы учёных [3, 4]. Существует много подходов к классификации поля научных знаний, созданной техники и разработанных технологий. Классификаторов сотни и «поэтому постоянно нужны переходники, которые позволяют автоматически получить по коду из одного классификатора соответствующие ему коды из другого» [5]. Аналогично поступают и в случае изменения существующих классификаций, когда пытаются сохранить преемственность и связанность прошлых и новых трансформируемых понятий. Например, при смене номенклатуры научных специальностей (НС) Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [6] потребовалось подготовить соответствующие рекомендации Президиума ВАК о сопряжении новых и прежних НС [7].

Используемые и разрабатываемые классификаторы, описывающие или стремящиеся описать предметные области (ПрО), как и любые базы данных (БД), учитывают информационные интересы и потребности разработчиков и вбирают в себя их опыт и компетенцию в данных ПрО. Чем шире спектр классифицируемых объектов, чем большее количество ПрО охватывает классификация, тем большее количество специалистов (экспертов) требуется привлекать для её разработки, тем острее стоит вопрос о согласовании понятий и терминов, используемых в различных ПрО, о выравнивании онтологий этих ПрО [8-11]. Об объединении, согласовании и выравнивании онтологий не раз писалось в т.ч. на страницах журнала «Онтология проектирования» (см., например, [12, 13]), а также обсуждалось на онтологических саммитах [14, 15]. Эта тема остаётся в центре внимания разработчиков информационных систем.

Наиболее известными и широко используемыми системами для кодификации знаний в нашей стране являются: универсальная десятичная классификация (УДК, *Universal Decimal Classification*<sup>1</sup>); классификатор областей науки, разработанный экспертами Организации экономического сотрудничества и развития (*Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD*) [16]; Государственный рубрикатор научно-технической информации (ГРНТИ)<sup>2</sup>. Именно последние классификаторы используются в научной электронной библиотеке *eLIBRARY.RU*<sup>3</sup> для рубрикации размещаемых материалов. Свои классификации имеют широко используемые в мире наукометрические БД *Scopus* и *Web of Science*. Для всех наукометрических БД основой для рубрикации размещаемых материалов являются используемые ими классификации.

Эволюция научного знания изменяет представление в том числе о классификации этого знания, что требует внесения изменений в структуру научного знания. Такие изменения - это естественный и необходимый процесс, устанавливающий на определённом временном отрезке вектор развития науки, появление новых, трансформацию уже сложившихся научных дисциплин и направлений. Так, например, в редакцию ГРНТИ 2022 года<sup>2</sup> введены важные новые понятия, отражающие развитие науки, техники, отраслей хозяйства и социальной жизни; проведена работа по актуализации и редактированию существующих разделов, устранению дублирования ряда понятий, уточнению и улучшению аппарата ссылок и при-

<sup>1</sup> *Universal Decimal Classification, UDC*. - <https://udcsummary.info/php/index.php?id=13358&lang=ru>.

<sup>2</sup> Государственный рубрикатор научно-технической информации. - <https://grnti.ru/>.

<sup>3</sup> РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) - ведущая наукометрическая база в Российской Федерации.

мечаний. Аналогичные изменения с разной периодичностью и в разных масштабах вносятся во все актуальные классификации.

Классификация *OECD* оказалось, видимо, удачной, т.к. последняя правка была проведена 15 лет назад. Её относительный успех кроется, скорее всего, в отсутствии более детальной классификации, третьего и последующего уровней рубрикации. Построенная на её основе номенклатура НС ВАК детализирует второй уровень, добавляя третий, который и формирует НС.

Классификация науки является не только фактором, организующим познавательную деятельность, но и фактором, который определяет уровень систематизации объектов познания во всех областях науки [17, 18]. Благодаря развитию научной деятельности происходит раскрытие взаимосвязей и взаимопроникновение наук на основании различных принципов. Для понимания принципов классификации науки большое значение имеют способы её представления (схемы, таблицы, графики и др.). Думается, что построение онтологии науки, как согласованного объединяющего семантического графа знаний с соответствующим универсальным для различных пользователей интерфейсом, позволит иметь наглядный развивающийся инструмент рубрикации результатов исследований.

Целью данной во многом постановочной статьи является инициирование работы по созданию онтологии науки с использованием информационных технологий, семантических и лингвистических моделей ПрО НС.

## 1 Объективные трудности описания эволюционирующего знания

В истории науки известно, как происходило формирование научных дисциплин<sup>4</sup>. Как из накопленных обобщений и знаний в различных ПрО формировался общий взгляд на мир - начало философии. Как пытливый взгляд человека на звёзды позволил выстроить астрономию, а впоследствии и небесную механику. В поисках возможности объяснить земные явления, не обладая необходимыми для этого знаниями и непрерывно наблюдая за небосклоном, родилась астрология, которая не смогла подтвердить статус научной дисциплины. Причём, что было вначале - астрология или астрономия - на том этапе познания эволюционирующей жизни, уже невозможно определить.

Взгляд философа на практики строительства жилых и общественных зданий позволил ещё до нашей эры дать начало науке архитектуре [19], а очередная попытка построить благостную теорию общественного управления в наше бурное и критическое для цивилизации время рождает эвергетику [20]. Спектр взглядов на окружающие предметы вызывал и вызывает неподдельный интерес, который формировал и продолжает формировать представление о предмете, помогал и помогает выработке гипотез, а впоследствии теорий, из которых создавалось и создаётся то или иное направление в науке. Появление новых направлений не разрывает бесконечную ткань научного знания, а лишь углубляет представление о том предмете, на который обращены взоры исследователей.

Наглядным примером этой растущей ткани знаний может служить взаимосвязь и переплетение НС в новой номенклатуре [6]. На рисунке 1 показаны связи областей<sup>5</sup> и отраслей наук<sup>6</sup>. В данной классификации биологические, химические и сельскохозяйственные<sup>7</sup> науки

<sup>4</sup> Что касается раннего периода формирования науки, то, скорее всего, есть только предположения (гипотезы), а не фактическое знание.

<sup>5</sup> В отличие от классификации [16], послужившей базой для номенклатуры [6], в [6] выделено 5 областей наук, а не 6. Социальные и гуманитарные области науки объединены в одну.

<sup>6</sup> В номенклатуре [6] приняты 23 отрасли науки, которые используются для присвоения соискателям учёных степеней, защитивших диссертации по соответствующим НС.

<sup>7</sup> Присутствие прикладной сельскохозяйственной науки во всех областях науки трудно объяснить.

присутствуют во всех пяти областях науки, технические и ветеринарные науки – в четырёх, медицинские, физико-математические и геолого-минералогические – в трёх, шесть отраслей – в двух, 9 отраслей наук – лишь в одной области науки. Количественные иллюстрации принадлежности НС по отраслям и областям науки согласно [6] представлены в [1] на рисунках 1 и 2, в которых показано превалирование количества НС в технических и естественных областях наук. Отраслевой анализ количества НС также показал значительное превосходство технических наук, следом идут физико-математические, медицинские и биологические, отставая от лидера по количеству НС почти в 2.5 раза, а замыкают пятёрку лидеров химические науки.

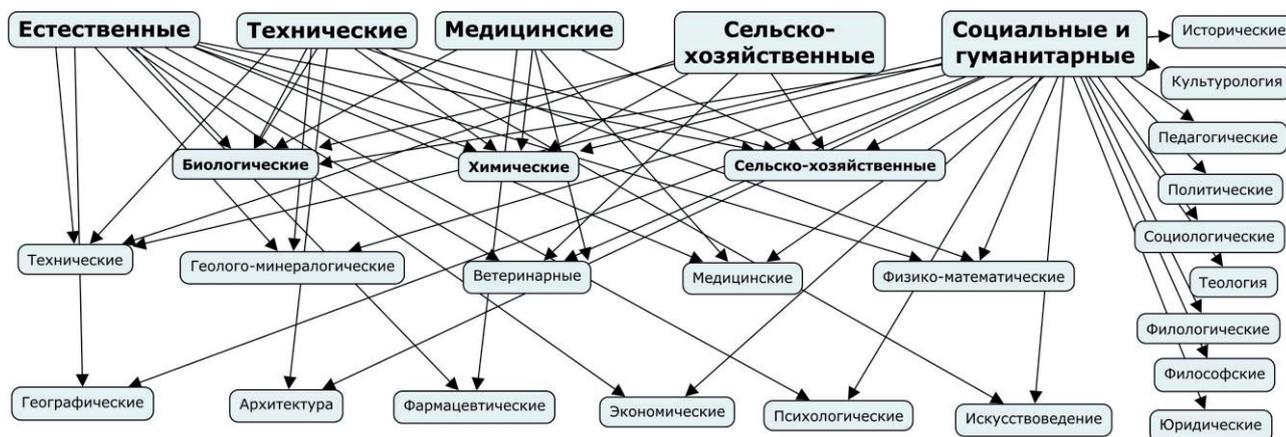


Рисунок 1 – Взаимосвязи областей и отраслей наук в номенклатуре научных специальностей согласно [6]

При составлении любой классификации важными являются вопросы о сопоставимости объёмов разделяемых областей, о принципах декомпозиции частей, о параметрах разделяемых и выделяемых сущностей [21]. Выделяя НС из областей и отраслей знаний, учитывают многие факторы, важнейшим из которых является инфраструктурное обеспечение, т.е. фактическое наличие организационных структур (институты, лаборатории, кафедры), наличие коллективов учёных, работающих в данном направлении, и научных результатов, полученных в соответствующих ПрО.

На формирование НС, отраслей и областей значительное влияние оказывает уже сложившаяся практика, например, подготовленные диссертационные исследования. В таблице 1 приведены данные о количестве объявлений о защитах диссертаций по отраслям наук за последние 10 лет, размещённые на сайте ВАК<sup>8</sup>. Из рисунка 2, построенного на основе таблицы 1, видно доминирование технических и медицинских наук. Экономические науки в общем зачёте за 10 лет вышли на третье место, хотя их успех приходится в основном на 2013-2018 годы, а в последние годы эти науки конкурируют с филологическими науками<sup>9</sup>.

В период 2013-2018 годы также наблюдался всплеск географических открытий и значимых достижений в политологии и социологии. Вероятно, пандемия повлияла на развитие успеха в этих отраслях науки, и рост новых квалификационных работ замедлился.

Философы в общем зачёте превосходят успехи политологов и социологов, продолжая, с одной стороны, традиции ранней философии, с другой, находясь в поиске приложений к реальной жизни и прикладным наукам. Наблюдается взаимный интерес философов и специалистов, разрабатывающих системы с искусственным интеллектом.

<sup>8</sup> Объявления о защитах на сайте ВАК при Минобрнауки РФ. [https://vak.minobrnauki.gov.ru/adverts\\_list#tab=\\_tab:advert~](https://vak.minobrnauki.gov.ru/adverts_list#tab=_tab:advert~).

<sup>9</sup> Всё познаётся в сравнении, поэтому автору статьи, как представителю технических наук, радостно за коллег по цеху – экономистов и филологов, и бесспорно, что в отраслях этих наук есть значимые результаты, но хотелось бы видеть, как этот вал научных достижений в экономике и филологии влияет на нашу жизнь.

Таблица 1 - Количество объявлений о защитах диссертаций по отраслям наук в различные периоды

Отрасль науки	Количество объявлений о защитах диссертаций на сайте ВАК				
	2022	2021-2022	2020-2022	2018-2022	2013-2022
Технические науки	1635	3330	4562	8209	23761
Медицинские науки	1178	2804	4184	7502	20111
Филологические науки	556	1012	1349	2548	7207
Экономические науки	548	1026	1433	2519	10505
Физико-математические науки	425	874	1237	2549	8706
Биологические науки	418	888	1261	2271	7301
Юридические науки	343	641	937	1778	5456
Педагогические науки	325	814	1219	2172	7112
Сельскохозяйственные науки	319	567	791	1291	3260
Химические науки	200	479	723	1456	4425
Исторические науки	176	407	589	1202	3811
Искусствоведение	162	249	324	547	1357
Ветеринарные науки	110	200	279	448	1017
Геолого-минералогические науки	96	180	236	414	1187
Психологические науки	80	162	251	484	1807
Культурология	64	135	173	270	670
Философские науки	60	141	219	538	2178
Географические науки	43	98	139	259	837
Фармацевтические науки	41	100	143	278	771
Социологические науки	40	80	110	293	1428
Архитектура	26	43	52	94	232
Политические науки	15	49	69	205	1266
Теология	5	15	17	22	22

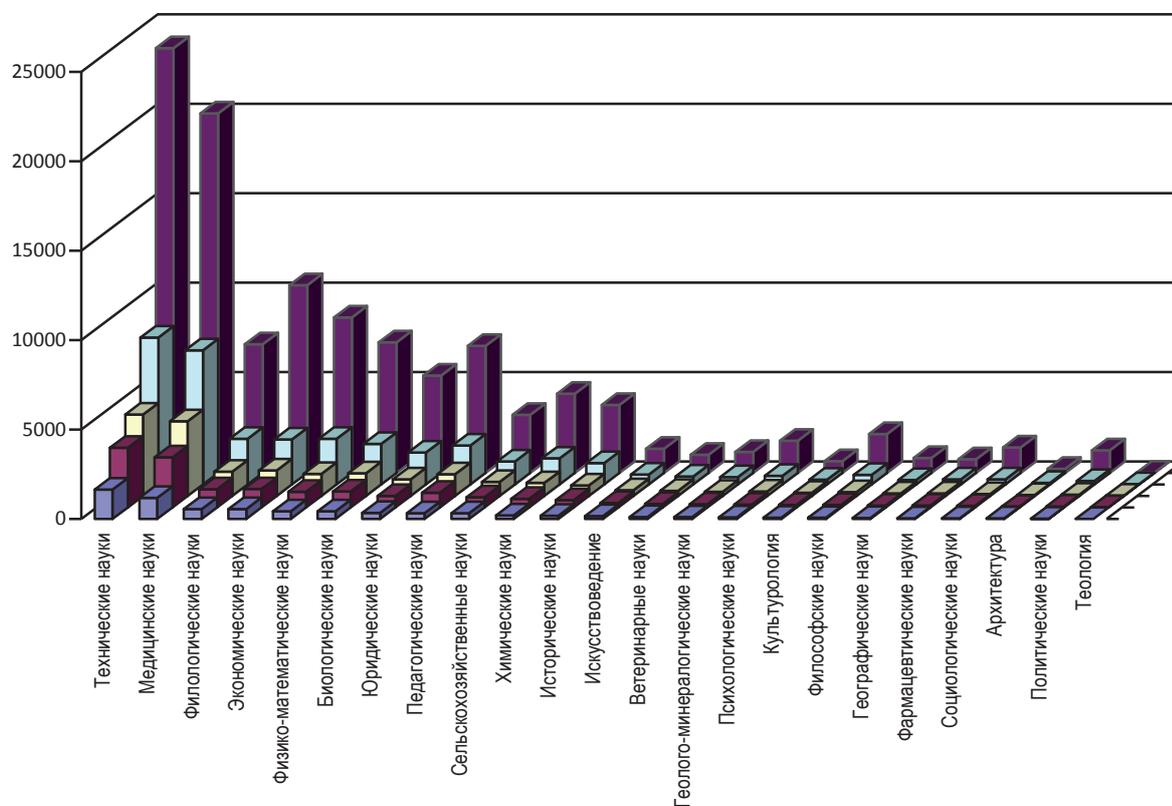


Рисунок 2 – Количество объявлений о защитах диссертаций по отраслям наук нарастающим итогом

По количеству представленных за последнее десятилетие квалификационных работ в первые семь отраслей входят также физико-математические, биологические и педагогические науки. Явный аутсайдер в этом отраслевом рейтинге – теология. Являясь по определению разделом культуры, конечно, ей место в культурологии. Без ущерба для науки (напротив, во благо), для оценки квалификационных работ можно было бы также объединить политические науки с социологическими, т.к. наука о власти не может рассматривать методы управления обществом в отрыве от моделей общества. Это подтверждают и количественные результаты представленных работ (см. таблицу 1).

Подобный анализ настоящих и прошлых подготовленных квалификационных работ, в сочетании с анализом научных публикаций по наукометрическим БД, может позволить отслеживать динамику научной деятельности, помочь в формировании номенклатуры НС.

## 2 Объект и предмет исследования

В статье объектом исследования является классификация знаний, классификация и рубрикация наук. В качестве предмета исследования рассмотрена номенклатура НС ВАК [6].

### 2.1 Краткая история разработки новой номенклатуры НС ВАК

Начало работ над новой номенклатурой было положено в 2018 году [22]. В Рекомендации [23] ВАК «констатирует, что действующая номенклатура НС во многом не соответствует сложившимся реалиям, что существующая система внесения изменений в номенклатуру НС *громоздка и не может оперативно решать поставленные задачи*. Рекомендовано использовать классификацию области науки и техники, разработанную Дирекцией науки, технологии и промышленности Комитета по научно-технической политике Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)». Структуру новой номенклатуры НС предложено составить из трёх уровней: I – область науки; II – отрасль науки или группы специальностей; III – НС.

На следующем шаге был утверждён проект I-го и II-го уровней номенклатуры НС [24], но в Приказе [6] в неё были внесены изменения. Например, науки об образовании были заменены на педагогику; химические технологии и технологии материалов – на химические технологии, науки о материалах, металлургия. Не вошли в [6] и военные, военнотехнические и специальные науки [24]. Т.е. процесс совершенствования номенклатуры НС шёл и идёт непрерывно.

В рекомендациях [25] был принят проект новой номенклатуры НС, который передан на утверждение в Минобрнауки РФ. При этом рекомендовано «продолжить работу по совершенствованию *правового механизма утверждения номенклатуры, обеспечивающего упрощение процедуры внесения в неё изменений и дополнений*». Решено также организовать разработку и утверждение паспортов НС. В [26] приведены перечни НС из номенклатур НС, утверждённых приказами Минобрнауки России от 24.02.2021 №118 и от 23.10.2017 № 1027. Сопоставление этих номенклатур показало, что количество НС, не претерпевших изменений (названий и содержания), составило 213; количество НС, изменивших название, образовавшихся в результате слияния нескольких НС – 47 (было 121); количество НС, названия которых претерпели редакционные изменения – 30. В редакции Приказа [6] от 11.05.2022 года<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Приказ Минобрнауки РФ от 11.05.2022 № 445 «О внесении изменений в номенклатуру научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, утверждённую приказом Минобрнауки РФ от 24 февраля 2021 г. № 118, и в соответствие направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, утверждённой приказом Минобрнауки РФ от 24 февраля 2021 г. № 118, установлен. приказом Минобрнауки РФ от 24 августа 2021 г. №786».

были внесены изменения, которые касались в основном состава отраслей наук (добавление и удаление) по НС, по которым присуждаются учёные степени, а также добавления новых, удаление утративших силу и корректировка названий уже включённых НС. В частности, в НС, по которым аффилирован научный журнал «Онтология проектирования», были внесены дополнения. В НС 2.3.1 добавлено слово «статистика», теперь название 2.3.1. имеет вид «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (паспорт этой НС пока не опубликован), а в НС 2.5.13. добавлено «испытания и эксплуатация», что позволило в рамках НС исследовать весь жизненный цикл летательных аппаратов, и теперь название НС 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Важным и во многом определяющим в работе субъектов науки (соискателей, диссертационных и экспертных советов, научных журналов и др.) являются паспорта НС, которые фактически являются контекстом, раскрывающим суть и содержание названия НС. В [27] экспертным советам ВАК для единообразия описания НС было рекомендовано руководствоваться следующими требованиями при подготовке паспортов НС:

- структура паспорта должна состоять из разделов: а) область науки; б) группа НС; в) наименование отрасли науки, по которой присуждаются учёные степени; г) шифр и наименование НС; д) направления исследований; е) смежные специальности;
- паспорт одной НС должен быть описан в пределах от 1,5 до 6 тыс. знаков<sup>11</sup>.

Ключевыми в паспорте НС, помимо её названия, являются направления исследований (НИ), которые детализируют предмет исследований в НС. В рекомендациях отсутствуют требования по количеству этих направлений и по их детализации.

## 2.2 Исходные данные для анализа новой номенклатуры НС ВАК

Можно выделить два подхода к подбору корпусов текстовой информации, которые можно использовать для её семантического анализа с целью подготовки основы для разработки тезауруса науки и, в конечном итоге, онтологии науки. Условно эти корпуса научной информации представляют собой «айсберг», разделённый на две неравнозначные части. Основная, «невидимая» его часть – это весь массив научной информации, находящийся в распоряжении наукометрических БД, включая все имеющиеся фонды библиотек, публикации в материалах научных конференций, журналов, монографий. Обработку этой части научной информации ведут, используя технологии больших данных и работая как с размеченными данными, так и с потоком неструктурированной информации. Меньшую, «видимую» часть айсберга составляет отобранная информация, подготовленная экспертами в конкретных ПрО. В данном анализе в качестве корпуса текстовой информации использовалась «видимая», верифицированная информация, прошедшая строгий экспертный отбор по всем ПрО.

В качестве исходных данных для анализа новой номенклатуры НС использовались номенклатура НС ВАК [6] и паспорта НС<sup>12</sup> (на 1.09.2022 г. размещено 343 паспорта НС). В качестве примера рассмотрена социально-гуманитарная область науки, включающая наибольшее количество отраслей наук. В таблице 2 приведены НС и их шифры, принятые в номенклатуре НС ВАК в этой области науки.

Представляют интерес следующие вопросы. Как специалисты в различных ПрО в рамках заданных в номенклатуре областей наук и групп специальностей определяют название НС, как описывают и фактически формируют НИ в своих НС? Какое количество терминов по-

<sup>11</sup> Введённые ограничения на объём паспорта НС по знакам целесообразно заменить ограничениями на количество слов, как это обычно делается в журналах для рекомендаций авторам при подготовке ими аннотаций статей.

<sup>12</sup> Паспорта НС номенклатуры НС. - <https://drive.google.com/drive/folders/1RNYkXhvAzaEF85GqxOH8HhbenJJoUMR7>.

Таблица 2 – Научные специальности (НС), принятые в номенклатуре НС ВАК, в социально-гуманитарной области науки

Группа НС	Наименование НС
1. Право	1.1. Теоретико-исторические правовые науки
	1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки
	1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки
	1.4. Уголовно-правовые науки
	1.5. Международно-правовые науки
2. Экономика	2.1. Экономическая теория
	2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике
	2.3. Региональная и отраслевая экономика
	2.4. Финансы
	2.5. Мировая экономика
	2.6. Менеджмент
3. Психология	3.1. Общая психология, психология личности, история психологии
	3.2. Психофизиология
	3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика
	3.4. Педагогическая психология, психодиагностика цифровых образовательных сред
	3.5. Социальная психология, политическая и экономическая психология
	3.6.1. Клиническая психология (отрасль науки – медицинские)
	3.6.2. Клиническая психология (отрасль науки – психологические)
	3.7. Возрастная психология
	3.8. Коррекционная психология и дефектология
	3.9. Юридическая психология и психология безопасности
4. Социология	4.1. Теория, методология и история социологии
	4.2. Экономическая социология
	4.3. Демография
	4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы
	4.5. Политическая социология
	4.6. Социология культуры
	4.7. Социология управления
5. Политология	5.1. История и теория политики
	5.2. Политические институты, процессы, технологии
	5.3. Государственное управление и отраслевые политики
	5.4. Международные отношения
6. Исторические науки	6.1. Отечественная история
	6.2. Всеобщая история
	6.3. Археология
	6.4. Этнология, антропология и этнография

	6.5. Историография, источниковедение, методы исторического исследования
	6.6. История науки и техники
	6.7. История международных отношений и внешней политики
	6.8. Документалистика, документоведение, архивоведение
7. Философия	7.1. Онтология и теория познания
	7.2. История философии
	7.3. Эстетика
	7.4. Этика
	7.5. Логика
	7.6. Философия науки и техники
	7.7. Социальная и политическая философия
	7.8. Философская антропология, философия культуры
	7.9. Философия религии и религиоведение
8. Педагогика	8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования
	8.2. Теория и методика обучения и воспитания
	8.3. Коррекционная педагогика
	8.4. Физическая культура и профессиональная физическая подготовка
	8.5. Теория и методика спорта
	8.6. Оздоровительная и адаптивная физическая культура
	8.7. Методология и технология профессионального образования
9. Филология	9.1. Русская литература и литературы народов Российской Федерации
	9.2. Литературы народов мира
	9.3. Теория литературы
	9.4. Фольклористика
	9.5. Русский язык. Языки народов России
	9.6. Языки народов зарубежных стран
	9.7. Классическая, византийская и новогреческая филология
	9.8. Теоретическая, прикладная и сравнительно-сопоставительная лингвистика
	9.9. Медиакоммуникации и журналистика
10. Искусствоведение и культурология	10.1. Теория и история культуры, искусства
	10.2. Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов
	10.3. Виды искусства
	10.4. Библиотековедение, библиографоведение и книговедение
11. Теология	11.1. Теоретическая теология
	11.2. Историческая теология
	11.3. Практическая теология
12. Когнитивные науки	12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов
	12.2. Междисциплинарные исследования мозга
	12.3. Междисциплинарные исследования языка
	12.4. Когнитивное моделирование

требовалось использовать, чтобы сформулировать название НС, НИ, каким количеством НИ описывается ПрО НС и есть ли (используется) внутренняя их вложенность (декомпозиция уровней)? Какие термины наиболее часто используют специалисты, чтобы описать исследуемые ими сущности в разных областях науки? Возможно, что ответы на эти и другие вопросы позволят выработать требования к построению онтологии науки.

### 3 Семантический анализ номенклатуры НС ВАК

#### 3.1 Инструменты семантического анализа

Семантический анализ визуальной и текстовой информации давно перестал быть только научным направлением [28-32], а представляет уже огромный рынок с большим количеством потребителей и продавцов. Существуют десятки различных инструментов семантического анализа текста, в т.ч. и бесплатных<sup>13</sup>, для простых задач могут подойти и офисные программы, функционал которых постоянно совершенствуется.

В данном постановочном исследовании в качестве инструментов применялись разработки коллег из Новосибирска *Words Finder* (программный комплекс для построения терминологических словарей, руководитель Ю.А. Загорулько [30]) и *KLAN* (программный комплекс для создания предметных словарей, руководитель Е.А. Сидорова [31]), а также семантический анализ текста Адвего<sup>13</sup> и *MS Word*.

#### 3.2 Результаты предварительного анализа

Предварительный анализ новой классификации позволяет утверждать о наличии объективных трудностей «разделения» знаний, о различии опыта и взглядов разработчиков на соответствие и отнесение тех или иных результатов в науке в «прокрустово ложе», в жёсткие границы заданной номенклатуры [1]. Тем не менее, эта работа очень важна и нужна науке, и онтология науки с учётом достижений современных информационных технологий может быть тем инструментом, который позволит актуализировать представления о границах научного поиска и взаимосвязи научного знания.

Краткий анализ можно начать с анализа объёма символьного описания НС, в частности анализа количества слов и символов, используемых в названиях НС, анализа количества НИ в НС и объёма символьного описания этих направлений. Сравнительный анализ показал, что количество слов, используемых в названиях НС, отличается на порядок. Т.е. специалисты в разных ПрО формулируют свою НС разным объёмом терминов данной ПрО. Например, наиболее объёмное название НС в технической области науки – «2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте» (13 слов и 108 знаков). Однословных названий НС в номенклатуре несколько десятков, но лидер из них по количеству символов «7.4. Этика» (1 слово и 5 знаков) в социально-гуманитарной области науки (см. таблицу 2). Наиболее объёмное название НС в этой области у НС «3.4. Педагогическая психология, психодиагностика цифровых образовательных сред» (6 слов и 68 знаков). Конечно, определяющими для семантики являются не количество знаков, а слова и стоящие за ними термины и понятия. Одно-двух-трёх словные названия НС чаще всего соответствуют научным направлениям, имеющим устойчивый терминологический аппарат, принятый в данной ПрО, и однозначно понимаемый стоящий за

---

<sup>13</sup> Семантический анализ текста онлайн, seo-анализ текста. <https://advego.com/text/seo/>.

Полный семантический анализ текста. [https://miratext.ru/seo\\_analiz\\_text](https://miratext.ru/seo_analiz_text).

Семантический анализ текста. istio <https://istio.com/text/analyz>.

ним контекст. Многословие в названии НС характеризует, скорее всего, ещё не сложившееся содержание НС и «кристаллизация» её понятийного и терминологического аппаратов, тезауруса ПрО находятся в процессе.

Зерно, контекст, содержание НС раскрываются в НИ, обозначенных в паспорте НС. Не все экспертные группы, участвующие в их подготовке, справились с требованиями Рекомендации ВАК [27]. Наблюдается существенное отличие в количестве выбранных НИ, а также во вложенности уровней этих НИ. Стоит оговорить, что многоуровневое представление НИ является лишь особенностью конкретной ПрО и отражает взгляд конкретных экспертов на проблемы и задачи, стоящие в данной ПрО.

В таблице 3 представлены НС социально-гуманитарной области науки, в паспортах которых имеются двухуровневые НИ. В этой области науки таких НС оказалось всего восемь. Лидером по количеству вложенности уровней является НС «2.3. Региональная и отраслевая экономика», где 13 первых уровней НИ декомпозируются ещё на 217 НИ. Такая подробная детализация избыточна и связана, скорее всего, с попыткой подтвердить многословием свою целесообразность в номенклатуре НС.

Таблица 3 – НС в социально-гуманитарной области науки, имеющие двухуровневые НИ в паспортах НС

Научные специальности	Уровни НИ	
	Количество НИ на 1-ом уровне	Количество НИ на 2-ом уровне
2.3. Региональная и отраслевая экономика	13	217
3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика	7	24
10.3. Виды искусства	6	68
3.7. Возрастная психология	3	42
11.3. Практическая теология	3	24
11.1. Теоретическая теология	3	21
11.2. Историческая теология	3	18
3.9. Юридическая психология и психология безопасности	2	13

Эксперты теперь объединённой НС «10.3. Виды искусства» нашли выход сохранить прежние шесть НС, дав каждой из них свои НИ, которые далее декомпозированы на втором уровне в 68 НИ.

В таблице 4 приведены данные о количестве заявленных НИ в социально-гуманитарной области науки в паспортах НС ВАК. Из таблицы видна значительная разница в детальности описания НИ в разных НС. В лидеры по количеству НИ, помимо уже отмеченных в таблице 3 НС «2.3. Региональная и отраслевая экономика» (217 НИ) и «10.3. Виды искусства» (68 НИ), вышли «10.1. Теория и история культуры, искусства» (127 НИ), «7.8. Философская антропология, философия культуры» (81 НИ), «1.1. Теоретико-исторические правовые науки» (68 НИ). В конце этого списка стоят НС, имеющие менее 10 НИ: «3.6.2. Клиническая психология (отрасль науки – психологические, 9 НИ); «3.6.1. Клиническая психология (отрасль науки – медицинские, 9 НИ); «9.4. Фольклористика» (9 НИ) и «9.2. Литературы народов мира» (8 НИ).

В таблице 5 приведены данные о количестве слов, которые использованы при описании НИ в паспортах НС ВАК социально-гуманитарной области науки. Здесь по-прежнему с большим отрывом лидер НС «2.3. Региональная и отраслевая экономика» (2314 слов), за ним НС «3.7. Возрастная психология» (1236 слов), «7.1. Онтология и теория познания» (1045 слов), «10.1. Теория и история культуры, искусства» (997 слов) и «3.9. Юридическая психология и психология безопасности» (901 слово). Замыкают рейтинг по числу используемых

Таблица 4 – Количество заявленных направлений исследований (НИ) в паспортах НС, принятые в номенклатуре специальностей ВАК, в социально-гуманитарной области науки

Научные специальности	Кол-во НИ
2.3. Региональная и отраслевая экономика	217
10.1. Теория и история культуры, искусства	127
7.8. Философская антропология, философия культуры	81
10.3. Виды искусства	68
1.1. Теоретико-исторические правовые науки	68
7.7. Социальная и политическая философия	63
7.1. Онтология и теория познания	60
7.9. Философия религии и религиоведение	46
7.6. Философия науки и техники	45
3.1. Общая психология, психология личности, история психологии	43
4.5. Политическая социология	43
3.7. Возрастная психология	42
8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования	41
10.4. Библиотечноеведение, библиографоведение и книговедение	40
10.2. Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов	39
7.2. История философии	38
7.3. Эстетика	36
6.4. Этнология, антропология и этнография	36
8.7. Методология и технология профессионального образования	35
3.5. Социальная психология, политическая и экономическая психология	34
8.2. Теория и методика обучения и воспитания	34
2.6. Менеджмент	34
2.4. Финансы	34
5.2. Политические институты, процессы, технологии	33
1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки	32
8.5. Теория и методика спорта	31
6.3. Археология	31
1.5. Международно-правовые науки	30
1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки	30
4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы	30
6.1. Отечественная история	30
9.8. Теоретическая, прикладная и сравнительно-сопоставительная лингвистика	29
4.2. Экономическая социология	29
4.6. Социология культуры	28
5.1. История и теория политики	28
8.6. Оздоровительная и адаптивная физическая культура	27

6.2. Всеобщая история	27
8.4. Физическая культура и профессиональная физическая подготовка	26
2.5. Мировая экономика	26
9.1. Русская литература и литературы народов Российской Федерации	26
7.4. Этика	25
11.3. Практическая теология	24
3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика	24
4.7. Социология управления	23
9.3. Теория литературы	22
11.1. Теоретическая теология	21
6.8. Документалистика, документоведение, архивоведение	21
5.4. Международные отношения	20
4.1. Теория, методология и история социологии	19
9.7. Классическая, византийская и новогреческая филология	19
11.2. Историческая теология	18
5.3. Государственное управление и отраслевые политики	18
2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике	18
2.1. Экономическая теория	18
8.3. Коррекционная педагогика	17
3.4. Педагогическая психология, психодиагностика цифровых образовательных сред	16
7.5. Логика	15
4.3. Демография	15
9.9. Медиакоммуникации и журналистика	14
3.9. Юридическая психология и психология безопасности	13
12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов	12
9.5. Русский язык. Языки народов России	12
1.4. Уголовно-правовые науки	12
12.4. Когнитивное моделирование	12
12.3. Междисциплинарные исследования языка	12
9.6. Языки народов зарубежных стран	12
6.6. История науки и техники	11
3.8. Коррекционная психология и дефектология	11
6.7. История международных отношений и внешней политики	11
6.5. Историография, источниковедение, методы исторического исследования	10
3.6.2. Клиническая психология (отрасль науки – психологические)	9
3.6.1. Клиническая психология (отрасль науки – медицинские)	9
9.4. Фольклористика	9
9.2. Литературы народов мира	8

Таблица 5 – Количество слов, которые использованы при описании направлений исследований в паспортах НС, принятые в номенклатуре НС ВАК, в социально-гуманитарной области науки

Научные специальности	Кол-во слов
2.3. Региональная и отраслевая экономика	2314
3.7. Возрастная психология	1236
7.1. Онтология и теория познания	1045
10.1. Теория и история культуры, искусства	997
3.9. Юридическая психология и психология безопасности	901
3.1. Общая психология, психология личности, история психологии	896
3.6.2. Клиническая психология (отрасль науки – психологические)	748
11.3. Практическая теология	727
7.7. Социальная и политическая философия	712
10.3. Виды искусства	665
3.5. Социальная психология, политическая и экономическая психология	662
1.1. Теоретико-исторические правовые науки	566
3.3. Психология труда, инженерная психология, когнитивная эргономика	559
8.2. Теория и методика обучения и воспитания	547
11.1. Теоретическая теология	526
7.8. Философская антропология, философия культуры	514
7.6. Философия науки и техники	505
11.2. Историческая теология	502
8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования	496
1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки	479
2.6. Менеджмент	475
8.6. Оздоровительная и адаптивная физическая культура	450
7.9. Философия религии и религиоведение	441
8.7. Методология и технология профессионального образования	437
4.5. Политическая социология	418
1.5. Международно-правовые науки	414
8.3. Коррекционная педагогика	410
9.3. Теория литературы	397
6.8. Документалистика, документоведение, архивоведение	393
10.4. Библиотечковедение, библиографоведение и книговедение	388
1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки	382
8.4. Физическая культура и профессиональная физическая подготовка	368
9.8. Теоретическая, прикладная и сравнительно-сопоставительная лингвистика	341
12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов	338
9.5. Русский язык. Языки народов России	332

4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы	329
1.4. Уголовно-правовые науки	325
8.5. Теория и методика спорта	309
10.2. Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов	307
5.2. Политические институты, процессы, технологии	303
12.4. Когнитивное моделирование	302
2.4. Финансы	297
12.3. Междисциплинарные исследования языка	281
6.1. Отечественная история	276
7.3. Эстетика	260
4.1. Теория, методология и история социологии	254
9.9. Медиакоммуникации и журналистика	251
5.4. Международные отношения	247
5.3. Государственное управление и отраслевые политики	246
9.6. Языки народов зарубежных стран	243
7.5. Логика	242
9.7. Классическая, византийская и новогреческая филология	231
2.5. Мировая экономика	230
6.2. Всеобщая история	230
7.2. История философии	227
9.1. Русская литература и литературы народов Российской Федерации	217
2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике	215
3.4. Педагогическая психология, психодиагностика цифровых образовательных сред	206
4.6. Социология культуры	198
7.4. Этика	193
4.7. Социология управления	192
6.3. Археология	176
6.6. История науки и техники	168
3.8. Коррекционная психология и дефектология	166
6.4. Этнология, антропология и этнография	160
5.1. История и теория политики	157
4.2. Экономическая социология	155
3.6.1. Клиническая психология (отрасль науки – медицинские)	147
9.2. Литературы народов мира	147
2.1. Экономическая теория	138
6.5. Историография, источниковедение, методы исторического исследования	133
4.3. Демография	102
6.7. История международных отношений и внешней политики	85
9.4. Фольклористика	30

слов в описании НИ НС «4.3. Демография» (102 слова), «6.7. История международных отношений и внешней политики» (85 слов) и «9.4. Фольклористика» (30 слов).

Анализ количества использованных слов в НИ при их описании показал также разный подход к представлению этих НИ в разных НС. Например, в НС «10.4 Библиотечноеведение, библиографоведение и книговедение», в которой содержатся 40 направлений и использовано для описания всех НИ 388 слов, одно из НИ состоит всего из одного слова «Библиофилия». А в НС «3.9 Юридическая психология и психология безопасности», имеющей 13 НИ и описанных 901 словом, одно из НИ составлено из 174 слов<sup>14</sup>.

Сравнение этих двух НИ с использованием Адвего<sup>13</sup> приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Статистика минимальных и максимальных по количеству слов текстов НИ в НС социально-гуманитарной области науки «10.4 Библиотечноеведение, библиографоведение и книговедение» и «3.9 Юридическая психология и психология безопасности»

Наименование показателя	Значение показателя для НИ в разных НС	
	10.4 «Библиофилия»	3.9 «Психология безопасности»
Количество символов	12	1964
Количество символов без пробелов	11	1790
Количество слов	1	174
Количество уникальных слов	1	71
Количество значимых слов	1	76
Количество стоп-слов	0	27
Вода	0.0 %	56.3 %
Количество грамматических ошибок	0	0
Классическая тошнота документа	1.00	4.00
Академическая тошнота документа	0.0 %	19.5 %

Согласно оценочным рекомендациям разработчиков Адвего<sup>13</sup> водность и тошнота текста рассмотренного НИ в НС «3.9 Юридическая психология и психология безопасности» находится в пределах допустимого. При этом высокочастотная часть семантического ядра этого НИ, приведённая в таблице 7, показывает, что при описании лишь одного НИ многократно использовались одни и те же термины, что явно избыточно для краткого описания ПрО.

Таблица 7 – Фрагмент высокочастотной части семантического ядра для НИ в НС «3.9 Юридическая психология и психология безопасности»

Фраза/слово	Количество	Частота, %
психологический	16	9.20
безопасность	11	6.32
деятельность	9	5.17
психология	9	5.17
специалист	9	5.17
правореализационный	6	3.45

В качестве примера приведены результаты семантического анализа описания НИ в НС сельскохозяйственной области науки. В таблице 8 приведена статистика этого текста. Отмеченные грамматические ошибки на самом деле таковыми не являются. Они означают лишь буквенные аббревиатуры (АПК, ФАО, ГИС и др.) и использование специфических, узкоспециальных слов, которые не содержит словарь Адвего (сенокосов, севооборот, семеношения и др.). В качестве примера в таблице 9 приводится фрагмент стоп-слов в тексте НИ в НС сельскохозяйственной области науки.

Наибольший интерес представляют термины ПрО, используемые в НИ, и их частотность, т.к. именно они войдут в общую онтологию науки, именно их предстоит согласовывать с другими терминами различных ПрО. В таблице 10 приведён фрагмент высокочастотной части

не являются. Они означают лишь буквенные аббревиатуры (АПК, ФАО, ГИС и др.) и использование специфических, узкоспециальных слов, которые не содержит словарь Адвего (сенокосов, севооборот, семеношения и др.). В качестве примера в таблице 9 приводится фрагмент стоп-слов в тексте НИ в НС сельскохозяйственной области науки.

<sup>14</sup> Для наглядности представлен краткий фрагмент этого НИ в данной НС. «Психология безопасности специалистов право-реализационной деятельности в экстремальных условиях деятельности... Психология сохранения жизни и здоровья граждан в изменяющихся социально-политических, экстремальных и опасных условиях жизнедеятельности.»

семантического ядра НИ в НС сельскохозяйственной области науки с использованием Адвего. Видно, что в данном инструменте семантического анализа текста в семантическое ядро наряду с существительными включают и прилагательные (*сельскохозяйственный, биологический, пищевой*), характерные для текста данной Про.

Таблица 8 – Статистика текста НИ в НС сельскохозяйственной области науки (на основе Адвего)

Наименование показателя	Значение
Количество символов	79529
Количество символов без пробелов	70800
Количество слов	8243
Количество уникальных слов	1657
Количество значимых слов	4368
Количество стоп-слов	1605
Вода	47.0 %
Количество грамматических ошибок	111
Классическая тошнота документа	11.27
Академическая тошнота документа	6.0 %

Таблица 9 – Фрагмент стоп-слов в тексте НИ в НС сельскохозяйственной области науки (на основе Адвего)

Слово	Количество	Частота, %
и	1003	12.17
в	165	2.00
их	80	0.97
для	62	0.7
на	60	0.3
с	43	0.52
при	27	0.33
к	26	0.32
по	21	0.25

Из таблицы 10 видно, что вершину частотности в сельскохозяйственной области науки наряду с терминами, характерными для этой Про (животное, растение, почва, культура и т.п.), занимают общенаучные термины: разработка, метод, технология, система, процесс и др. Аналогичное исследование этих НИ с помощью программного комплекса *KLAN* выявило прилагательные *животный* (98) и *лесной* (42), а также незначительную разность в частоте терминов: *метод* (120) и *животное* (98). В таблице 11 приведён фрагмент высокочастотной части словокомплекса (двух-, трёх- и даже четырехсловные термины) НИ в НС сельскохозяйственной области науки, также полученный на основе *KLAN*.

Используя программный комплекс *Words Finder*, выполнен аналогичный анализ по всем областям наук. В таблице 12 представлен результат выявления высокочастотных терминов в НИ всех НС номенклатуры ВАК по каждой области науки в отдельности и по всем областям. Сравнение терминов в таблицах 10 и 12 сельскохозяйственной области науки идентично за исключением отмеченных прилагательных в таблице 10. Из таблицы 12 видно, что общенаучные термины в правом столбце формируют основу общенаучного тезауруса. В 15 наиболее частотных терминов всех НИ номенклатуры ВАК попал лишь один узкоспециальный термин – заболевание.

Определение однословных терминов в тексте достаточно просто. Существенно труднее с двух- и трёхсловными терминами (словокомплексами). В таблицах 13 и 14 приведены результаты выявления таких терминов. В таблице 13 приведены фрагменты высокочастотной части словокомплексов НИ в НС по различным областям науки, полученные с использованием программного комплекса *KLAN*. Приведены словокомплексы в областях наук, которые встречались более 15 раз при описании области науки. Видно, что технические и медицинские области науки в своих описаниях содержат наибольшее количество устойчивых словокомплексов, что коррелирует с количеством их научных результатов (см. таблицу 1).

Результат выявления высокочастотных одно-, двух- и трёхсловных терминов в НИ НС по всем областям науки, полученный на основе *Words Finder*, представлен в таблице 14.

## Выводы

Проблема классификации науки обусловлена отсутствием целостной онтологии науки, её понятийного аппарата, модели её развития. Представленный анализ номенклатуры науч-

ных специальностей ВАК (названий НС и направлений исследований в паспортах НС) показал существенное различие в подходах при описании направлений исследований научных специальностей и значительное количественное отличие.

Таблица 10 – Фрагмент высокочастотной части семантического ядра НИ в НС сельскохозяйственной области науки (на основе Адвего)

Фраза/слово	Количество	Частота, %
Разработка	127	1.54
Метод	118	1.43
Животное	92	1.12
Технология	92	1.12
Растение	87	1.06
Система	77	0.93
Средство	70	0.85
Почва	65	0.79
Процесс	62	0.75
Использование	61	0.74
Сельскохозяйственный	60	0.73
Биологический	56	0.68
Изучение	54	0.66
Исследование	51	0.62
Культура	48	0.58
Пищевой	48	0.58
Способ	46	0.56
Основа	45	0.55
Различный	45	0.55
Оценка	43	0.52
Продукт	41	0.50

Таблица 11 – Фрагмент высокочастотной части словокомплекса НИ в НС сельскохозяйственной области науки (на основе KLAN)

Словокомплекс	Кол-во
Лекарственное растение	22
Техническое средство	20
Овощная культура	17
Разработка методов	15
Пищевая система	14
Сельскохозяйственная культура	14
Сельскохозяйственное животное	12
Технологический процесс	12
Инфекционная болезнь	11
Научная основа	11
Агропромышленный комплекс	10
Окружающая среда	10
Охотничье животное	10
Пищевой продукт	10
Болезное животное	9
Защита растений	9
Метод оценки	9
Продукт питания	9
Активное вещество	8
Лесное хозяйство	8
Метод исследования	8
Рациональное использование	8

Таблица 12 – Высокочастотные термины в НИ НС различных областей науки (на основе Words Finder)

N	Естественные	Технические	Медицинские	Сельскохозяйственные	Социально-гуманитарные	Все области науки
1	Метод	Метод	Заболевание	Разработка	Развитие	Метод
2	Процесс	Система	Разработка	Метод	Метод	Разработка
3	Система	Разработка	Метод	Животное	Культура	Система
4	Разработка	Процесс	Изучение	Технология	Исследование	Процесс
5	Теория	Исследование	Система	Растение	Проблема	Исследование
6	Основа	Технология	Лечение	Система	Система	Технология
7	Исследование	Материал	Диагностика	Средство	Деятельность	Изучение
8	Изучение	Управление	Исследование	Почва	Теория	Развитие
9	Структура	Основа	Профилактика	Процесс	Процесс	Основа
10	Свойство	Средство	Совершенствование	Использование	Управление	Средство
11	Анализ	Обеспечение	Развитие	Изучение	Образование	Теория
12	Среда	Сооружение	Технология	Исследование	Психология	Управление
13	Соединение	Объект	Средство	Культура	Наука	Среда
14	Создание	Производство	Пациент	Способ	Философия	Заболевание
15	Моделирование	Безопасность	Реабилитация	Основа	Человек	Анализ

Таблица 13 – Фрагменты высокочастотной (более 15 повторений при описании области науки) части словокомплексов НИ в НС по различным областям науки (на основе *KLAN*)

Естественные	Кол-во	Медицинские	Кол-во
Окружающая среда	18	Метод диагностики	55
Твердое тело	18	Разработка методов	49
Дифференциальное уравнение	17	Изучение этиологии	37
Разработка методов	17	Лекарственное средство	35
Метод исследования	16	Разработка новых	35
Искусственный интеллект	15	Нервная система	34
Научная основа	15	Реабилитация пациентов	24
Физическая основа	15	Метод лечения	23
<b>Технические</b>		Реабилитация пациента	23
Разработка методов	89	Клиническая практика	22
Технологический процесс	75	Усовершенствование методов	22
Научная основа	68	Крайний север	19
Летательный аппарат	48	Медицинская помощь	19
Окружающая среда	44	Метод исследования	19
Разработка научных основ	38	Район крайнего севера	19
Экспериментальное исследование	37	Совершенствование методов	18
Жизненный цикл	36	Усовершенствование методов диагностики	18
Метод расчета	36	Изучение механизмов	17
Транспортная система	36	Система крови	17
Чрезвычайная ситуация	35	Совершенствование технологий	17
Экологическая безопасность	34	Лучевая диагностика	16
Система управления	32	Особенность течения	16
Техническое средство	32	Старческий возраст	16
Совершенствование методов	30	Изучение распространенности	15
Информационная технология	29	Лечение заболеваний	15
Исследование процессов	29	<b>Сельскохозяйственные</b>	
Теоретическая основа	29	Лекарственное растение	22
Подвижной состав	24	Техническое средство	20
Композиционный материал	22	Овощная культура	17
Математическое моделирование	22	Разработка методов	15
Метод оценки	21	<b>Социально-гуманитарные</b>	
Исследование методов	20	Профессиональное образование	36
Метод исследования	20	Психическое развитие	36
Повышение эффективности	20	Международное отношение	27
Горная порода	19	Образовательная среда	23
Строительный материал	18	Историческое развитие	21
Гидротехническое сооружение	17	Государственное управление	20
Метод анализа	17	Искусственный интеллект	20
Научное обоснование	17	Правовое регулирование	19
Энергетическая установка	17	История развития	18
Железная дорога	16	Метод исследования	17
Метода расчета	16	Физическая культура	17
Организация производства	16	Международное право	16
Техническое состояние	16	Развитие человека	16
Автоматизированное проектирование	15	Сфера услуг	16
Информационная безопасность	15	Тенденция развития	16
Информационная система	15	Языковая семья	16
Математическая модель	15	Международное отношење	15
Обеспечение безопасности	15	Метод анализа	15
Транспортное сооружение	15	Метода исследования	15

Автор полагает, что разработка согласованного тезауруса и, в конечном итоге, онтологии науки позволит создать «правовой механизм» актуализации номенклатуры, необходимый

ВАК для достижения поставленной ею цели. Возможно, что создаваемые порталы знаний и достижения отечественных специалистов в области компьютерной лингвистики [28-33] могли бы послужить основой для создания компьютерной онтологии науки, удобной для коллективного обсуждения и принятия согласованных позиций специалистами-предметниками.

Таблица 14 – Высокочастотные одно-, двух- и трёхсловные термины в НИ НС по всем областям науки (на основе *Words Finder*)

№	Однословные термины	Двухсловные термины	Трёхсловные термины
1	Метод	Технологический процесс	Разработка научных основ
2	Разработка	Метод диагностики	Система искусственного интеллекта
3	Система	Экспериментальные исследования	Совершенствование методов диагностики
4	Процесс	Твердое тело	Периферическая нервная система
5	Исследование	Техническое средство	Охрана окружающей среды
6	Технология	Дифференциальное уравнение	Ограниченная возможность здоровья
7	Изучение	Физическая основа	Новый метод исследования
8	Развитие	Психическое развитие	Заболевание нервной системы
9	Основа	Профессиональное образование	Свойство горных пород
10	Средство	Лекарственное средство	Метод машинного обучения
11	Теория	Нервная система	Экспериментальный метод исследования

### Список источников

- [1] **Боргест Н.М.** Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2(44). С.136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [2] **Жмудь Л.Я.** Две античных классификации наук: Аристотель и Гемин. *Schole, СХОЛЭ*. 2021. Т.15, №1. С.265-288. DOI:10.25205/1995-4328-2021-15-1-265-288.
- [3] *Философия: Энциклопедический словарь*. М.: Гардарики. Под редакцией А.А. Ивина. 2004. [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_philosophy/525/классификация\\_наук](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/525/классификация_наук).
- [4] **Гордон Б.Г.** Нормативная классификация наук. *Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество*. 2019. №2-2. С.890-895.
- [5] **Стерлигов И.** Песнь о классификаторах: OECD, ГРНТИ, ВАК, WoS, Scopus, МСКО... 26 сентября 2013 г. <http://isterligov.blogspot.com/2013/09/oecd-wos-scopus.html>.
- [6] Приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 N 118 (ред. от 11.05.2022) «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 г. N 1093».
- [7] Рекомендация Президиума ВАК Минобрнауки России от 10.12.2021 N 32/1-НС «О сопряжении научных специальностей номенклатуры, утверждённой приказом Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. N118, научных специальностей номенклатуры, утверждённой приказом Минобрнауки России от 23 октября 2017 г. N 1027».
- [8] **Овдей О.М., Проскудина Г.Ю.** Обзор инструментов инженерии онтологий. Труды 6-ой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL2004, Пушкино, Россия, 2004. 10 с. <http://rcdl.ru/doc/2004/paper26.pdf>.
- [9] **Карпенко А.П., Сухарь Р.С.** Методы отображения онтологий. Обзор. *Машиностроение и компьютерные технологии*. 2009. №1. 18 с.
- [10] **Ermolayev V., Davidovsky M.** Agent-based ontology alignment: basics, applications, theoretical foundations, and demonstration. WIMS '12: Proceedings of the 2nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. June 2012 Article No.3. P.1–12. <https://doi.org/10.1145/2254129.2254136>.
- [11] **Euzenat J., Shvaiko P.** *Ontology Matching*. Second edition. Springer-Verlag, Berlin (DE), 2013. 511p.
- [12] **Набатов А.Н., Веденяпин И.Э.** Онтология объединения информационных подсистем: принципы и примеры. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №2. С.218-231. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-2-218-231.
- [13] **Павлов С.В., Ефремова О.А.** Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных. *Онтология проектирования*. 2017. Т.7, №3(25). С.323-333. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.

- [14] Ontology Summit 2016 Communique. Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. <http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique>.
- [15] **Баклавски К., Беннет М., Берг-Кросс Г., Шнайдер Т., Шарма Р., Сингер Д.** Онтологический Саммит 2020. Коммюнике: Графы знаний. Перевод с англ. Д. Боргест. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.540-555. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-4-540-55.
- [16] Revised field of science and technology (FOS) classification in the Frascati Manual. Unclassified DSTI/EAS/STP/NESTI(2006)19/FINAL. 26-Feb-2007. <https://www.oecd.org/science/inno/38235147.pdf>.
- [17] **Бармин А.В.** К проблеме классификации науки // История науки и техники в системе современных знаний: материалы научной конференции. УПИ, Екатеринбург, 14 декабря 2009 г. С.41-46.
- [18] **Разеев Д.Н.** Проблема классификации наук (феноменологический подход к решению). Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6, 2010. №2, с.28-32.
- [19] **Боргест Н.М.** Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха // Онтология проектирования. 2018. Т.8, №4(30). С.487-522. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
- [20] **Виттих В.** Избранные труды по эвергетике (по материалам статей и докладов) / сост. С.Ю. Боровик, Т.В. Моисеева, С.В. Смирнов. - Самара: Издательство «Новая техника», 2022. 420 с.
- [21] **Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.** Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 324 с.
- [22] Рекомендация ВАК от 11 декабря 2018 года № 8-пл. Об организации работы по совершенствованию номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени. 5 с.
- [23] Рекомендация ВАК от 26 июня 2019 года № 1-пл/3. О задачах и подходах при разработке Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени. 2 с.
- [24] Рекомендация ВАК от 24 декабря 2019 года № 2-пл/1. О разработке номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени. 2 с.
- [25] Рекомендация ВАК от 2 октября 2020 года № 1-пл/1. О проекте номенклатуры научных специальностей. 2 с.
- [26] Рекомендация ВАК от 28 мая 2021 года №15/1-НС. О научных специальностях новой номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени. 19 с.
- [27] Рекомендация ВАК от 24 июня 2021 года № 1-пл/4. О паспортах научных специальностей. 2 с.
- [28] **Лукашевич Н.В.** Тезаурусы в задачах информационного поиска. М.: Изд-во Московского университета, 2011. 512 с.
- [29] **Лукашевич Н.В., Добров Б.В.** Проектирование лингвистических онтологий для информационных систем в широких предметных областях. *Онтология проектирования*. 2015. Т.5. №1(15). С.47-69.
- [30] **Загорюлько Ю.А.** Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области. *Онтология проектирования*. 2015. Т.5, №1(15): 30-46.
- [31] **Сидорова Е.А.** Комплексный подход к исследованию лексических характеристик текста. *Вестник СибГУТИ*. 2019. № 3. С.80-88.
- [32] **Загорюлько Г.Б.** Разработка онтологии для Интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях. *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №4(22): 485-500. DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
- [33] **Конonenko И.С., Ахмадеева И.С., Сидорова Е.А., Шестаков В.К.** Проблемы извлечения терминологического ядра предметной области из электронных энциклопедических словарей. *Системная информатика*. 2018. №13. С.49-76. <https://system-informatics.ru/ru/article/236>.

## 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 университета, 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 10.09.2022, после рецензирования 20.09.2022. Принята к публикации 25.09.2022.



## Development problems of ontology of science: Classification analysis

© 2022, 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

The existing classifications of science are distinguished by a variety of approaches. The next change in the nomenclature of scientific specialties, presented by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, and the unresolved problem of “simplifying the procedure for making changes and additions to it” determined the relevance of the topic covered in the article. The recommendations of the Higher Attestation Commission on the development of the nomenclature and passports of scientific specialties were considered. The efforts of the Higher Attestation Commission to reduce scientific specialties, their generalization in order to reduce bureaucratic barriers in the qualification assessment of applicants for scientific degrees at the intersection of fields of knowledge were noted. The quantitative results of scientific achievements over the past decade in the form of dissertations submitted for defense in various fields of science are considered. The dominance of technical and medical sciences is expected, while a surge in achievements in economic and political sciences, which was observed especially in 2013-2018, can be noted. The scientific achievements of applicants in the physical and mathematical, philological and biological sciences tend to keep up with the leaders. An analysis of the nomenclature of scientific specialties is presented: names, passports, research areas. A frequency analysis of the terms used in the passports of scientific specialties was carried out. A quantitative assessment of the declared areas of research in scientific specialties and the words used in their description was carried out. A significant difference in approaches to the description of areas of research in scientific specialties and a significant quantitative difference were revealed. As an example, an analysis of the social and humanitarian field of science, which includes the largest number of branches of science, is given. The author believes that the development of the ontology of science will be the very "legal mechanism" for updating the nomenclature, which will allow the Higher Attestation Commission to achieve its goal.

**Key words:** system analysis, classification of science, nomenclature, scientific specialty, direction of research, ontology.

**For citation:** 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.

**Acknowledgments:** the author expresses his sincere gratitude to his friends and colleagues from Novosibirsk for the opportunity to conduct a study using the *Words Finder* (software package for building terminological dictionaries, head Yu.A. Zagorulko) and *KLAN* (software package for creating subject dictionaries, head E.A. Sidorova).

**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 and tables

- Figure 1 - Relationships between areas and branches of science in the nomenclature of scientific specialties [6]
- Figure 2 - The number of announcements on the defense of dissertations by branches of science on an accrual basis
- Table 1 - The number of announcements about defenses on the website of the Higher Attestation Commission by field of science in different periods
- Table 2 - Scientific specialties accepted in the nomenclature of specialties of the Higher Attestation Commission in the social and humanitarian field of science
- Table 3 - Scientific specialties in the social and humanitarian field of science, having two-level areas of research in the passports of scientific specialties
- Table 4 - The number of declared areas of research in the passports of scientific specialties, accepted in the nomenclature of specialties of the Higher Attestation Commission, in the social and humanitarian field of science

- Table 5 - The number of words used in the description of directions in the passports of scientific specialties, accepted in the nomenclature of specialties of the Higher Attestation Commission, in the social and humanitarian field of science
- Table 6 - Statistics of the minimum and maximum texts in terms of the number of words of research areas in the scientific specialties of the social and humanitarian field of science "10.4 Library science, bibliography and book science" and "3.9 Legal psychology and security psychology"
- Table 7 - A fragment of the high-frequency part of the semantic core for the direction of research in scientific specialties "3.9 Legal psychology and security psychology"
- Table 8 - Statistics of the text of the direction of research in scientific specialties of the agricultural field of science
- Table 9 - A fragment of stop words in the text of the direction of research in scientific specialties of the agricultural field of science
- Table 10 - A fragment of the high-frequency part of the semantic core of the direction of research in the scientific specialties of the agricultural field of science (based on the Advego program)
- Table 11 - A fragment of the high-frequency part of the word complex of research directions in scientific specialties of the agricultural field of science (based on the KLAN program)
- Table 12 - High-frequency terms in the directions of research of scientific specialties in various fields of science (based on the Words Finder program)
- Table 13 - Fragments of the high-frequency (more than 15 repetitions when describing the field of science) part of the word complexes of research areas in scientific specialties in various fields of science (based on the KLAN program)
- Table 14 - High-frequency one-, two- and three-word terms in research areas of scientific specialties in all fields of science (based on the Words Finder program)

## References

- [1] **Borgest NM.** Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples [In Russian]. *Ontology of designing.* 2022; 12(2): 136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [2] **Zhmud LYu.** Two ancient classifications of sciences: Aristotle and Gemin. [In Russian]. *Schole,* 2021; 15(1): 265-288. DOI:10.25205/1995-4328-2021-15-1-265-288.
- [3] *Philosophy: Encyclopedic Dictionary* [In Russian]. Moscow: Gardariki. Edited by A.A. Ivin. 2004.
- [4] **Gordon BG.** Normative classification of sciences [In Russian]. *Greater Eurasia: development, security, cooperation.* 2019; 2-2: 890-895.
- [5] **Sterligov I.** Song about classifiers: OECD, SRSTI, VAK, WoS, Scopus, MSCO... [In Russian]. September 26, 2013. <http://isterligov.blogspot.com/2013/09/oecd-wos-scopus.html>.
- [6] 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".
- [7] Recommendation of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia dated December 10, 2021 N 32 / 1-NS [In Russian]. "On the conjugation of scientific specialties of the nomenclature approved by order of the Ministry of Education and Science of Russia of February 24, 2021 N118, scientific specialties of the nomenclature approved by order of the Ministry of Education and Science of Russia of October 23, 2017 No. 1027".
- [8] **Ovdey OM, Proskudina GYu.** An overview of ontology engineering tools [In Russian]. Proceedings of the 6th All-Russian Scientific Conference "Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Electronic Collections" - RCDL2004, Pushchino, Russia, 2004. 10 p. <http://rcdl.ru/doc/2004/paper26.pdf>.
- [9] **Karpenko AP, Sukhar RS.** Ontology mapping methods. Review [In Russian]. *Mechanical engineering and computer technologies.* 2009; 1: 1-18.
- [10] **Ermolayev V, Davidovsky M.** Agent-based ontology alignment: basics, applications, theoretical foundations, and demonstration. WIMS '12: Proceedings of the 2nd International Conference on *Web Intelligence, Mining and Semantics.* June 2012 Article No.3. P.1–12. <https://doi.org/10.1145/2254129.2254136>.
- [11] **Euzenat J, Shvaiko P.** *Ontology Matching.* Second edition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (DE), 2013. 511p.
- [12] **Nabatov AN, Vedenyapin IE.** The ontology of merging information subsystems: principles and examples [In Russian]. *Ontology of designing.* 2020; 10(2): 218-231. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-2-218-231.
- [13] **Pavlov SV, Efremova OA.** Ontological model for integration of structurally heterogeneous spatial databases of various subject areas into a uniform regional database. *Ontology of designing.* 2017; 7(3): 323-333. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.

- [14] Ontology Summit 2016 Communique. Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. <http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique>.
- [15] Ontology Summit 2020: Knowledge Graphs. <https://ontologforum.s3.amazonaws.com/OntologySummit2020/Communique/OntologySummit2020Communique.pdf>.
- [16] Revised field of science and technology (FOS) classification in the Frascati Manual. Unclassified DSTI/EAS/STP/NESTI(2006)19/FINAL. 26-Feb-2007. <https://www.oecd.org/science/inno/38235147.pdf>.
- [17] **Barmin AV**. On the problem of classification of science [In Russian]. History of science and technology in the system of modern knowledge: materials of a scientific conference. UPI, Yekaterinburg, Dec. 14, 2009, p.41-46.
- [18] **Razeev DN**. The problem of classification of sciences (phenomenological approach to the solution). Bulletin of St. Petersburg University. Series 6, 2010. No. 2, pp. 28-32.
- [19] **Borgest NM**. The ontologies of designing from Vitruvia to Vittikh [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.
- [20] **Vittich V**. Selected works on evergetics (based on articles and reports) [In Russian]. Comp. S.Yu. Borovik, T.V. Moiseeva, S.V. Smirnov. Samara: New Engineering Publishing House, 2022. 420 p.
- [21] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI**. Knowledge engineering. Models and Methods. St. Petersburg: Publishing house «Lan», 2016. 324 p.
- [22] Recommendation of the Higher Attestation Commission. December 11, 2018 No.8-pl [In Russian]. On the organization of work to improve the range of scientific specialties for which academic degrees are awarded. 5 p.
- [23] Recommendation of the Higher Attestation Commission. June 26, 2019 No.1-pl/3 [In Russian]. On the tasks and approaches in the development of the Nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded. 2 p.
- [24] Recommendation of the Higher Attestation Commission. December 24, 2019 No.2-pl/1 [In Russian]. On the development of the nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded. 2 p.
- [25] Recommendation of the Supreme Attestation Commission. October 2, 2020 No.1-pl/1 [In Russian]. On the project of the nomenclature of scientific specialties. 2 p.
- [26] Recommendation of the Higher Attestation Commission. May 28, 2021 No.15/1-NS [In Russian]. On the scientific specialties of the new nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded. 19 p.
- [27] Recommendation of the Higher Attestation Commission. June 24, 2021 No.1-pl/4 [In Russian]. On the passports of scientific specialties. 2 p.
- [28] **Lukashovich NV**. Thesauri in information retrieval problems [In Russian]. Moscow: Moscow University Press, 2011. 512 p.
- [29] **Loukachevitch NV, Dobrov BV**. Developing linguistic ontologies in broad domains [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 47-69.
- [30] **Zagorulko GB**. Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(4): 485-500. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.
- [31] **Sidorova E**. The integrated approach to text lexical characteristics study [In Russian]. *Bulletin of SibGUTI*. 2019; 3: 80-88.
- [32] **Zagorulko GB**. Semantic technology for development of intelligent systems oriented on experts in subject domain [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(1): 30-46.
- [33] **Kononenko IS, Akhmadeeva IS, Sidorova EA, Shestakov VK**. Problems of extracting the terminological core of the subject area from electronic encyclopedic dictionaries [In Russian]. *System informatics*. 2018; 13: 49-76. <https://system-informatics.ru/ru/article/236>.
- 

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

---

Received September 10, 2022. Revised September 20, 2022. Accepted September 25, 2022.

---



## Онтологический анализ проекта передовой инженерной школы

© 2022, Г.Ф. Ахмедьянова ✉, А.М. Пищухин

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

### Аннотация

Рассмотрен проект организации передовой инженерной школы на основе анализа основных сущностей, составляющих структуру проекта. Отмечается, что положение передовой школы обеспечивается выбором фронтальной задачи, а инженерная направленность связана с производственной деятельностью в рамках создания инновационной продукции. Для реализации этой цели школа образует симбиоз между образовательным учреждением и высокотехнологичным промышленным предприятием. Сущность школы заключается в подготовке квалифицированных кадров и включает образовательную, научную и производственную деятельность. Передовой характер школы увязывается с подбором квалифицированных кадров со стороны образовательного учреждения и опытных производственников со стороны промышленного партнера. Особенностью образовательной технологии является уменьшение аудиторных занятий и увеличение времени на решение проблемных задач, на экспериментирование, анализ, сравнение; задания для самостоятельной работы включают проблемные вопросы; аудиторные занятия включают индивидуальные консультации; вместо общих программ разрабатываются индивидуальные и групповые планы; традиционное обучение заменяется формами организации сотрудничества; воспитательная и развивающая работа преподавателя осуществляется его участием в решении общих проблем; правила внутреннего распорядка принимаются самими обучающимися; дисциплина обеспечивается требованиями собственной и коллективной безопасности и совместного развития; нет групп в общем смысле, а есть сообщество единомыслящих.

**Ключевые слова:** инженерная школа, фронтальная задача, инженер, высокотехнологичный партнер, компетенции, инновация.

**Цитирование:** Ахмедьянова Г.Ф. Пищухин А.М. Онтологический анализ проекта передовой инженерной школы // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.299-309. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-299-309.

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

### Введение

Правительство Российской Федерации своим постановлением<sup>1</sup> объявило о предоставлении грантов государственной поддержки создания и развития передовых инженерных школ (ПИШ). Проект создания ПИШ вошёл в перечень инициатив социально-экономического развития России до 2030 года.

«Появление ПИШ в регионах России позволит сократить разрыв между образовательными программами и требованиями работодателей, вовлечь в образовательный процесс отраслевых специалистов высокого уровня, создать хорошо оснащённые научно-образовательные стенды и лаборатории, развивать моделирование, междисциплинарные проекты, трудоустраивать успешных выпускников на новые рабочие места», — заявила глава образовательного центра «Сириус» Елена Шмелёва<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ от 08.04.2022 N 619 "О мерах государственной поддержки программ развития передовых инженерных школ". <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204110041>.

<sup>2</sup> Шмелёва призвала воспитывать будущих инженеров со школьной скамьи. ВЗГЛЯД. Деловая газета .2 сентября 2021 г. <https://vz.ru/news/2021/9/2/1116861.html>.

«Такой инженер в какой-то степени объединяет в себе и материаловеда, и конструктора, и расчётчика, и технолога, и, если надо, маркетолога. Но поскольку в одном человеке, получающем специализированное образование, всё это объединить невозможно, нужен особый инструмент. И таким инструментом является матрица целевых показателей и ресурсных ограничений, которая содержит в себе те знания, которыми обладают разные узкие специалисты», - поясняет профессор А.И. Боровков<sup>3</sup>. Возник даже новый термин «инженерно-технологический спецназ», под которым подразумевается подготовка инженеров, основной компетенцией которых должно стать создание новых конкурентоспособных продуктов на основе интеграции достижений в различных областях знаний и передовых наукоёмких технологий. Программа развития ПИШ поднимет престижность инженерного труда [1], при условии, что проекты таких школ будут глубоко проработаны. Актуальным становится исследование сущностей [2], составляющих основу подготовки квалифицированного инженера.

## 1 Основные сущности проекта ПИШ

Основные сущности исследуемой предметной области можно рассмотреть на примере, изложенном в работах [3, 4].

Передовой инженер<sup>4</sup> (от лат. *ingenium* - способность, изобретательность) должен быть изобретателем и проектантом, но самое главное он должен быть организатором производства [5, 6]. Для того, чтобы развить изобретательский потенциал будущий инженер должен заниматься наукой и техническим творчеством. Для приобретения навыков проектирования конструкций или технологий необходимо обладать большим количеством знаний, а организацию производства осваивать на практике. Поэтому ПИШ должна быть единым целым, объединяющим науку, образовательный процесс и производство.

*Школа* (от др.-греч. *σχολή, σχολά* — досуг, учебное занятие, школа) — обычно воспринимается как учебное заведение для получения образования. В рассматриваемом контексте ПИШ направлена на профессиональное образование и подразумевает общие взгляды на подготовку инженеров. В этом единстве выделяются лидеры, сплачивающие данное сообщество и привлекающие новых союзников. Атмосфера такой школы должна способствовать обмену информацией на уровне идей, что значительно повысит эффективность её работы [7-9]. Этому же аспекту соответствует и определение *передовая*, стоящая на передовых рубежах науки и направленная на движение вперёд.

Для того, чтобы школа была передовой она должна заниматься решением *фронтирной задачи*<sup>5</sup>. Такой подход позволяет на основе анализа прошлого опыта наметить пути движения в будущее. ПИШ должна формироваться вокруг передовой научной идеи, уже сегодня демонстрирующей свою перспективность, в том числе в области практических результатов [10, 11].

В поиске и реализации таких идей должен участвовать *индустриальный партнер* — предприятие реального сектора экономики, принявшее на себя обязательства перед Минобрнауки России и получателем субсидии по софинансированию прикладных научных исследований и экспериментальных разработок и/или дальнейшему внедрению их результатов. Выбранный индустриальный партнер будет активным участником в управлении ПИШ с целью формирования востребованных предприятиями компетенций, трудоустройства, организации

<sup>3</sup> Центр НТИ СПбПУ провел ВКС-конференцию «СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ». 22-24 июня 2020 года. <https://npt-forum.ru/sovremennaya-podgotovka-ingenerov-2020>.

<sup>4</sup> См. также статью: Кондратьев В.В., Казакова У.А. Онтология формирования представления об инженере нового типа. Инженерное образование. 2022. Вып.31. С.58-66. DOI 10.54835/18102883\_2022\_31\_6. - Примеч. ред.

<sup>5</sup> Горбань А.Н. Фронтирные инженерные проблемы и задачи с примерами из разработки «искусственного интеллекта». <http://dalab.unn.ru/Seminars/ГорбаньФронтирныеДокладФинал.pdf>.

нового производства. Для того, чтобы это предприятие способствовало профессиональному развитию школы, оно должно реализовывать *высокотехнологичное производство* - совокупность информации, знаний, опыта, материальных средств, используемых при разработке и производстве технически сложной продукции.

Ожидается, что решение фронтальной задачи на практике приведёт к созданию продукции не просто более высокого качества, а *формирующей новую нишевую область рынка*.

Рассмотренные сущности взаимосвязаны между собой, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Онтологические проектные связи передовой инженерной школы

Анализ связей между проектными сущностями приводит к выводу, что ПИШ есть интегратор и координатор образовательных средств. Такой подход к проектированию ПИШ позволит выполнить её главную задачу: обеспечить выпуск передовых инженеров.

## 2 Проект ПИШ<sup>6</sup>

В качестве примера можно рассмотреть проект создания учебно-научно-производственного центра «Инженерно-технологическая школа», целью которого является повышение уровня технологической подготовки выпускников. Главная инженерная задача центра включает изучение технологий с быстропротекающими процессами, в частности взрывных технологий, основанных на передовых достижениях в области создания материалов с заранее заданными свойствами, в том числе высокоэнергетических материалов, а также особенностей организации производства с использованием таких технологий. Подготовка инженеров-технологов в этом центре ориентирована на базовую кафедру управления и информатики в технических системах, специальность 27.05.01 «Специальные организационно-технические системы». Немалая роль отводится направлениям 27.03.03 «Системный анализ и управление» и 27.03.04 «Управление в технических системах» [12, 13].

<sup>6</sup> Минобрнауки России утвердило распределение грантов (Приказ №608 от 30.06.2022) на поддержку 30 Передовых инженерных школ. Перечень ПИШ приведены на сайте - <https://analytics.engineers2030.ru/>. - *Примеч. ред.*

В структуру центра предлагается ввести органы управления образовательной, научной и производственной деятельностью. Общее управление должно включать представителей как ВУЗа, так и предприятий, поэтому высшим органом управления может быть совет центра.

Образовательная деятельность в центре направлена на подготовку инженеров-технологов. Образовательный процесс на первых порах планируется в виде факультативов с выдачей выпускникам диплома о дополнительном профессиональном образовании.

Научная деятельность концентрируется вокруг инженерной задачи центра. Поскольку штат исследователей распределён в рамках производства и учебного заведения, в задачу органов управления центра входит координация исследований.

Производственная составляющая сосредотачивается главным образом на предприятии: производственная практика обучающихся, прикладная исследовательская работа, опытно-конструкторские и опытно-технологические разработки приближаются к производству.

### **3 Индустриальный партнёр**

Индустриальными партнёрами являются высокотехнологичные предприятия, поскольку они имеют современное наукоёмкое производство и обладают необходимыми финансовыми средствами. Это предприятия аэрокосмической отрасли, биотехнологии, электроники и программного обеспечения, робототехники и др.

В качестве примера можно привести Орский механический завод, который обладает мощным интеллектуальным и производственно-техническим потенциалом, позволяющим реализовывать уникальное производство. Реализация основных задач завода базируется на современном оборудовании, которым оснащены ключевые производства завода.

Другим примером может служить ПО «Стрела», специализирующееся на выпуске машиностроительной продукции. Технические возможности цехов предприятия включают в себя механическую обработку высокой сложности, штамповочное производство, литьё металлов, выполнение гальванопокрытий и многое другое.

Активное участие в управлении ПИШ представителей предприятия выражается в том, что они могут принимать участие в работе совета центра как постоянные члены. Планируется создание института наставничества, где сотрудники индустриального партнёра индивидуально занимаются с обучающими [14, 15].

### **4 Главная инженерная задача школы**

В качестве главной инженерной задачи ПИШ можно выбрать изучение технологий с быстропотекающими процессами, и в частности взрывные технологии, основанные на передовых достижениях в области нанотехнологий и создании материалов с заранее заданными свойствами, в т.ч. высокоэнергетических материалов, а также особенностей организации производства с использованием таких технологий.

Научные исследования могут быть связаны с выбором микровзрывных технологий с точно рассчитанным распределённым воздействием. К таким технологиям относятся многие процессы, связанные с горением и другими быстропотекающими химическими реакциями.

Фундаментальная естественно-научная подготовка включает дисциплины математического, физического, химического блоков.

Профессиональный блок включает информационные технологии, технологию машиностроения, основы взаимозаменяемости, стандартизацию и сертификацию, а также технологию технико-экономического проектирования.

На основе исследований в области нанотехнологий планируется создать высокоэнергетические материалы с разной степенью энергоэффективности, распределённой по линии, плоскости или объёму. При этом зональное соединение или перемешивание позволит создавать продукты с заданными величинами направленных взрывных давлений. Точный подбор энергетических характеристик и управление детонационной стойкостью материалов позволит разрабатывать продукты для микровзрывных технологий, технологий объёмных или вакуумных взрывов. Основным направлением исследований в ПИШ предполагается выбрать вопросы достижения точности технологий.

## 5 Организационная структура ПИШ

Предлагается создавать ПИШ на базе нового структурного подразделения ВУЗа – учебно-научно-производственного центра «Инженерно-технологическая школа» [16-19].

Концепция основывается на интеграции в единое целое инновационного образовательного процесса, научного потенциала ВУЗа и высокотехнологичного производства для решения инженерных задач индустриального партнёра, подготовки и развития инженера-технолога.

Организационная структура ПИШ предназначена для управления всеми процессами. При этом не должно быть строгой централизации. Инициаторами развития могут быть производственники, учёные и педагоги. Лучшей формой для этого служит совет. Исполнительная власть в лице директора и его заместителей контролирует осуществление принятых решений и несёт ответственность за надлежащее их исполнение. Предлагаемая структура ПИШ показана на рисунке 2.

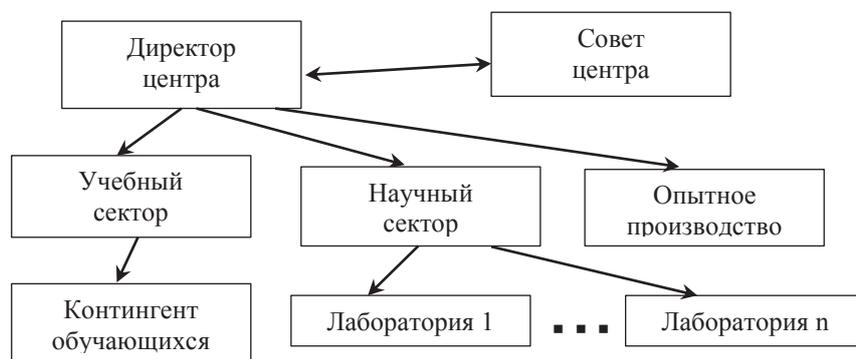


Рисунок 2 – Структура ПИШ (учебно-научно-производственного центра)

Деятельность в центре осуществляется на основе плана, включающего расписание, организацию заседаний, совещаний и конференций.

Базовые дисциплины, такие как безопасность организационно-технических систем, материаловедение и нанотехнологии, организация производства и технологические процессы, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами должны проводиться высококвалифицированными кадрами на основе конкурсного отбора.

Индустриальные партнёры располагают высокоточным оборудованием для выполнения технологических операций любой сложности в области машиностроения. Кадровый состав предприятий представлен высококвалифицированными специалистами с большим стажем работы. Все участники проекта вовлечены непосредственно в производственный процесс.

Инфраструктура должна быть объединённой вузовской и производственной, то есть состоять из двух частей. Каждая часть должна включать объекты, обеспечивающие общую жизнедеятельность.

Вузовская часть ПИШ должна иметь соответствующие лаборатории и производственный участок, а предприятие - аудитории, оснащённые оргтехникой для проведения образовательного процесса.

При формировании контингента обучающихся необходимо опираться прежде всего на вузовский контингент близких специализаций, а также на желающих углубить образование со стороны производственного персонала [20].

Необходимо организовать дополнительный вступительный экзамен и, возможно, выделить квоту для поступления на обучение в ПИШ на платной основе.

Концепция бренда ПИШ включает в себя логотип центра и раздел университетского сайта с экранной формой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Брендбук ПИШ

Согласно проекту, образовательный процесс в ПИШ будет построен на факультативном принципе, поэтому основной регламент работы – расписание составляется с учётом занятости обучающихся и педагогов.

Планируется реализовать на практике образовательные программы: «Инструментальные вычислительные средства», «Взрывные технологии» и «Нанотехнологии». Каждая программа включает до пяти дисциплин, которые реализуются совместно.

Под моделью компетенций обычно понимают полный набор компетенций и индикаторов. Модели содержат детальное описание стандартов действий, ведущих к достижению специальной цели, но могут включать стандарты поведения, разработанные для описания деятельности, направленной на достижение комплекса разнообразных корпоративных целей. Модель компетенций выпускника ПИШ удобнее всего сформировать экспертным методом [21, 22].

В условиях центра может быть перспективным обучение на основе новых образовательных технологий [23-27], в т.ч. модернизированной технологии свободного труда [28]. Особенностью этой технологии является уменьшение времени учебных занятий с увеличением времени на рассмотрение процедур разрешения проблем; возрастает время экспериментирования, анализа, сравнения; обычные задания для самостоятельной работы заменяются на поручения разобраться в вопросах; аудиторные занятия заменяются на индивидуальные консультации; вместо общих программ разрабатываются индивидуальные и групповые планы; воспитательная и развивающая работа преподавателя заменяется его участием в решении общих с обучающимися проблем; правила внутреннего распорядка принимаются самими обучающимися; дисциплина обеспечивается требованиями собственной и коллективной без-

опасности и совместного развития; нет групп в общем смысле, а есть сообщество единомыслящих.

Система оценки, кроме обычных форм, может сводиться к оценке по результату, иногда количественному, например, по количеству идей и их воплощений, публикаций и их уровня, по реализованным изделиям и технологиям (инновациям).

## 6 Выпускники

В качестве системообразующих для выпускников ПИШ выбраны следующие компетенции. Выпускник ПИШ способен:

- осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий;
- создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов;
- самостоятельно применять приобретенные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения инженерных задач;
- самостоятельно или в составе группы осуществлять научный поиск, анализ научной и патентной литературы при решении профессиональных задач с использованием современных средств и методов получения знания;
- аргументированно выбирать и обосновывать, а также разрабатывать схемотехнические, системотехнические и аппаратно-программные решения управления сложными техническими объектами и технологическими процессами и реализовывать их на практике;
- применять методы математического анализа, моделирования и системного проектирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач проектирования, производства и испытания систем.

Практический опыт и его результативность на производстве могут быть интегрированы в систему оценки [29, 30]. Поскольку участие обучающихся в практических разработках и авторство в них являются наиболее объективной интегральной оценкой полученной квалификации, должны быть созданы условия для творчества и предоставлено всё необходимое оборудование с инструментами. Чтобы ПИШ была успешной, необходимо мотивировать преподавателей и работодателей.

Формирование штата ПИШ должно осуществляться на конкурсной основе. Дополнительные средства должны выделяться как из средств предприятия, так и из средств ВУЗа, а также из средств, поступающих от платного обучения и продажи опытной продукции.

Выпускники обсуждаемой ПИШ могут найти своё призвание в строительстве: прокладка тоннелей, снос старых зданий и сооружений, выравнивание площадок; машиностроительном комплексе: обработка металлов давлением, взрывные технологии штамповки, сварки, укрепления и др.

## Заключение

Представленный проект может служить основой для создания ПИШ в форме учебно-научно-производственного центра «Инженерно-технологическая школа» с главной задачей подготовки передовых инженеров в области машиностроительных технологий на основе быстропротекающих процессов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Пинчук А.Ю.** Формирование отечественной инженерной школы как формы эффективного ответа российского общества на большие вызовы. *ЦИТИСЭ*. 2021. № 1 (27). С. 425-435.
- [2] **Боргест Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования*. 2013. №3(9). С.97-31.
- [3] **Боргест Н.М.** Критериальный анализ предметной области - ключевая проблема в онтологии проектирования // Информационные технологии и системы: труды Шестой Международной научной конференции Научное электронное издание. 2017. С. 28-30.
- [4] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2013. №1 (7). С.7–25.
- [5] **Ахмедьянова Г.Ф., Пищухин А.М.** Инженерное образование: проектирование образовательного маршрута по принципу от творчества к технологии. *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 2. С.177.
- [6] **Ахмедьянова Г.Ф.** Креативно-технологический образовательный маршрут развития инженерной компетентности будущих бакалавров. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12-7. С.1522-1526.
- [7] **Смирнов Н.А.** Особенности развития отечественной инженерной школы в период XIX-XX вв. *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*. 2021. № 4. С.48-54.
- [8] **Феклисова Т.М., Мозгунова Н.Н.** Становление русской инженерной школы // В сборнике: Профессиональное образование: актуальные проблемы и пути их решения. Материалы 3-ей региональной научно-практической Интернет-конференции. Орёл, 2021. С.97-101.
- [9] **Антохина Ю.А., Прохорова В.Б.** Инженерная школа XXI века. *Аккредитация в образовании*. 2016. №4(88). С.18-21.
- [10] **Румянцева А.С.** Инженерная задача и ее особенности. *Вестник науки*. 2021. Т.3. № 10(43). С.32-36.
- [11] **Басалаева И.П.** Критерии фронта: к постановке проблемы. *Теория и практика общественного развития*. 2012. №2. <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-frontira-k-postanovke-problemy>.
- [12] **Николаев М.Ю., Николаева Е.В., Полочанский В.И., Сосков В.П., Мальгин Г.В., Варварский А.В., Лариошкин В.А.** Базовая кафедра - инструмент для инженерной школы будущего. *Динамика систем, механизмов и машин*. 2018. Т.6. №3. С.67-72.
- [13] **Михелькевич В.Н., Овчинникова Л.П., Чугунова С.В.** Профессиональное самоопределение по видам деятельности студентов высшей инженерной школы. В сборнике: Высшее и среднее профессиональное образование как основа профессиональной социализации обучающихся. Материалы 13-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Р.С. Сафина, Е.А. Корчагина. 2019. С.108-112.
- [14] **Журавлева М.В., Ахметвалиева А.И.** Наставничество в производственной практической подготовке будущих инженеров. *Современное образование: актуальные вопросы и инновации*. 2019. № 4. С.43-47.
- [15] **Шарапова А.А., Горина А.В.** Развитие SOFT SKILLS будущих инженеров - наставников в проектной деятельности (на примере реализации вузовского проекта «Наставничество студентов СибАДИ в проектной деятельности») Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ». Омск, 2021. С.855-860.
- [16] **Королева И.А., Игнатенко М.О.** Предпосылки к реформированию высшего инженерного образования на примере высшей инженерной школы ЕГ ТИУ. Материалы Междунар. научно-практ. конф.: Гуманитаризация инженерного образования: методологические основы и практика. Тюмень, 2020. С.362-365.
- [17] **Русин М.Н.** Преимущество технологического образования в рамках инженерной школы на базе общеобразовательных учреждений. В сборнике: Технологическое образование: Состояние. Проблемы. Перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией Р.В. Каменева, И.И. Некрасовой. Новосибирск, 2021. С.81-85.
- [18] **Пинчук А.Ю.** Отечественная инженерная школа как необходимое условие успешного развития России (на примере станкостроения). *Alma mater (Вестник высшей школы)*. 2021. №3. С.8-13.
- [19] **Еленев К.С., Еленева Е.А.** Принципы развития системы ДОД как инновационной "Отечественной инженерной школы". *Техническое творчество молодежи*. 2018. №5(111). С.43-45
- [20] **Ахмедьянова Г.Ф.** Готовность к профессиональной деятельности - индикатор завершенности вузовского образования. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2021. №4(232). С.79-84.
- [21] **Никитин В.В., Трифионов Б.А.** О качестве инженерной подготовки в условиях реформирования высшей школы. В сборнике: Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке. Сборник трудов X Санкт-Петербургского конгресса. Минобрнауки РФ, Правительство Санкт-Петербурга. 2016. С. 71-75.
- [22] **Шолина И.И., Жилин А.С., Миронова В.А., Репринцева Н.Е.** Оптимизация моделей обеспечения качества образования высшей инженерной школы УРФУ. *Современные наукоемкие технологии*. 2021. №1. С.142-146.

- [23] *Ахмедьянова Г.Ф.* Развитие творческого потенциала будущего инженера посредством проектного метода обучения. *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 6. С.157-162.
- [24] *Akhmedyanova G.* Concepts of oeuvre and algorithmization in modern engineering education *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2020. V.172. P.911-917.
- [25] *Mikhel'kevich V., Ovchinnikova L., Chugunova S., Polovinkina A.* Developing engineering students' ability to create innovative competitive technical transport facilities. *AIP Conference Proceedings*. Сер. "Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021" 2021. С. 100001.
- [26] *Кузнецова М.И.* Конструирование как средство реализации программы "уральская инженерная школа". *Аллея науки*. 2019. Т.1. №3(30). С.763-767.
- [27] *Ковшов Е.Е., Лесин С.М., Кувшинников В.С.* Цифровая инженерная школа: инновационный научно-образовательный проект. *Интерактивное образование*. 2020. № 2. С.59-63.
- [28] *Френе С.* Избранные педагогические сочинения; пер. с фр.- М.:Прогресс, 1990. - 304 с.
- [29] *Меренков А.В., Мельникова О.Я.* Практики организации подготовки инженерных кадров, востребованных индустрий. *Инженерное образование*. 2021. № 29. С.23-33.
- [30] *Ельцов В.В.* Условия формирования корпуса профессиональных инженеров в российской федерации. *Инженерное образование*. 2020. № 28. С.31-41.

### Сведения об авторах



*Ахмедьянова Гульнара Фазульевна*, 1962 г. рождения. Окончила Оренбургский политехнический институт (1984), к.п.н. (2015). Доцент кафедры управления и информатики в технических системах Оренбургского государственного университета. Научных трудов свыше 100 работ SPIN: 5731-9945; AuthorID: 674304; ORCID: 0000-0003-3284-7794; ScopusID: 57202281622. [akhmedyanova@bk.ru](mailto:akhmedyanova@bk.ru).

*Пищухин Александр Михайлович*, 1955 г. рождения. Окончил Оренбургский политехнический институт (1977), д.т.н. (2001). Профессор кафедры управления и информатики в технических системах Оренбургского государственного университета. Специалист в области автоматизации, системного анализа и управления. В списке научных трудов 300 работ. SPIN: 6308-2320; AuthorID: 409347; ResearcherID: P-9023-2015; ORCID: 0000-0003-4655-6824; ScopusID: 57193740929 [pishchukhin55@mail.ru](mailto:pishchukhin55@mail.ru).



Поступила в редакцию 29.06.2022, после рецензирования 26.08.2022. Принята к публикации 01.09.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-299-309

## Ontological analysis of the advanced engineering school project

© 2022, G.F. Akhmedyanova ✉, A.M. Pishchukhin

Orenburg State University, Orenburg, Russia

### Abstract

The project of organizing an advanced engineering school is described based on the analysis of the main entities that make up the structure of this project. It is emphasized that the position of an advanced school is ensured by the choice of a frontier task, and the engineering orientation is associated with production activities in the framework of the creation of innovative products. To achieve this goal, the school forms a symbiosis between an educational institution and a high-tech industrial enterprise. Finally, the main essence of the school involves the training of qualified personnel, and, consequently, educational activities. The innovative nature of the school is also linked to the selection of qualified personnel from the educational institution and experienced production workers from the industrial partner to provide mentoring. A feature of this technology is a reduction in the volume of training, with an increase in time for consideration of

problem resolution procedures; the time of experimentation, analysis, comparison increases; the usual tasks for independent work are replaced by instructions to sort out the issues, while the time for the solution and the place are not specified in any way; classroom lessons are replaced by individual consultations; instead of general programs, individual and group plans are developed; traditional training is carried out by the very forms of organizing cooperation; the educational and developmental work of the teacher is replaced by his participation in solving common problems; internal regulations are adopted by the students themselves; discipline is ensured by the requirements of one's own and collective security and joint development; there are no groups in a general sense, but a community of like-minded people.

**Key words:** school, frontier task, engineer, high-tech partner, competencies, innovation

**Citation:** Akhmedyanova GF, Pishukhin AM. Ontological analysis of the advanced engineering school project [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 299-309. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-299-309.

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

## List of figures

Figure 1 - Ontological design relationships of the advanced engineering school

Figure 2 - The structure of the engineering school

Figure 3 - Brand book of the advanced engineering school

## References

- [1] **Pinchuk AYu.** Formation of a national engineering school as a form of effective response of the Russian society to the great challenges [In Russian]. *Center for Innovative Technologies and Social Expertise*. 2021; 1(27): 425-435.
- [2] **Borgest NM.** Key terms of ontology of designing: review, analysis, generalizations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3(9): 97-31.
- [3] **Borgest NM.** Criteria analysis of the subject area is a key problem in the ontology of designing [In Russian]. *Information technologies and systems: Proceedings of the Sixth International Scientific Conference Scientific electronic edition*. 2017. P.28-30.
- [4] **Borgest NM.** Scientific basis of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 1(7): 7–25.
- [5] **Akhmedyanova GF, Pishchukhin AM.** Engineering education: designing an educational route from creativity to technology [In Russian]. *Modern problems of science and education*. 2017; 2: 177.
- [6] **Akhmedyanova GF.** Creative-technological educational route for the development of engineering competence of future bachelors [In Russian]. *Fundamental research*. 2014; 12-7: 1522-1526.
- [7] **Smirnov NA.** Features of the development of the domestic engineering school in the period of the XIX-XX centuries [In Russian]. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. 2021; 4: 48-54.
- [8] **Feklisova TM, Mozgunova NN.** Formation of the Russian engineering school./In the collection: Vocational Education: Actual Problems and Ways to Solve Them [In Russian]. *Materials of the 3rd regional scientific and practical Internet conference*. Eagle, 2021. P.97-101.
- [9] **Antokhina YuA, Prokhorova VB.** Engineering school of the XXI century [In Russian]. *Accreditation in education*. 2016; 4(88): 18-21.
- [10] **Rumyantseva AS.** Engineering task and its features [In Russian]. *Bulletin of science*. 2021; 3(10): 32-36.
- [11] **Basalaeva IP.** Criteria of the frontier: to the formulation of the problem [In Russian]. *Theory and practice of social development*. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-frontira-k-postanovke-problemy>.
- [12] **Nikolaev MYu, Nikolaeva EV, Polochansky VI, Soskov VP, Malgin GV, Larionov AV.** The basic department is a tool for the engineering school of the future [In Russian]. *Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2018; 6(3): 67-72.
- [13] **Mikhelkevich VN, Ovchinnikova LP, Chugunova SV.** Professional self-determination by types of activity of students of higher engineering school [In Russian]. In the collection: Higher and secondary vocational education as the basis for the professional socialization of students. *Materials of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Under the general editorship of R.S. Safina, E.A. Korchagin. 2019. P.108-112.
- [14] **Zhuravleva MV, Akhmetvalieva AI.** Mentoring in the industrial practical training of future engineers [In Russian]. *Modern education: topical issues and innovations*. 2019; 4: 43-47.
- [15] **Sharapova AA, Gorina AV.** SOFT SKILLS development of future mentor engineers in project activities (on the example of the university project "mentoring SibADI students in project activities") Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations [In Russian]. *Collection of materials of the V International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of FGBOU VO "SibADI"*. Omsk,

- 2021, p.855-860.
- [16] **Koroleva IA, Ignatenko MO.** Prerequisites for the reform of higher engineering education on the example of the higher engineering school EG TIU [In Russian]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Humanitarianization of Engineering Education: Methodological Foundations and Practice. Tyumen, 2020. P.362-365.
- [17] **Rusin MN.** Continuity of technological education within the framework of an engineering school based on educational institutions. In the collection: Technological education: State. Problems. Perspectives [In Russian]. Materials of the All-Russian scientific-practical conference. Edited by R.V. Kameneva, I.I. Nekrasova. Novosibirsk, 2021. P.81-85.
- [18] **Pinchuk AYu.** Domestic engineering school as a necessary condition for the successful development of Russia (on the example of machine tool building) [In Russian]. *Alma mater (Bulletin of higher education)*. 2021; 3: 8-13.
- [19] **Elenov KS, Elenova EA.** Principles for the development of the DOD system as an innovative "Domestic Engineering School" [In Russian]. *Technical creativity of youth*. 2018; 5(111): 43-45.
- [20] **Akhmedyanova GF.** Readiness for professional activity is an indicator of the completion of university education [In Russian]. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2021; 4(232): 79-84.
- [21] **Nikitin VV, Trifonov BA.** On the quality of engineering training in the conditions of reforming higher education. In the collection: Vocational education, science and innovation in the XXI century [In Russian]. Collection of Proceedings of the X St. Petersburg Congress. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Government of St. Petersburg, Committee for Science and Higher Education, Emperor Alexander I St. Petersburg State University of Communications. 2016. P.71-75.
- [22] **Sholina II, Zhilin AS, Mironova VA, Reprintseva NE.** Optimization of models for ensuring the quality of education of the higher engineering school of the Ural Federal University [In Russian]. *Modern science-intensive technologies*. 2021; 1: 142-146.
- [23] **Akhmedyanova GF.** Development of the creative potential of the future engineer through the project method of teaching [In Russian]. *Modern science-intensive technologies*. 2018; 6: 157-162.
- [24] **Akhmedyanova G.** Concepts of oeuvre and algorithmization in modern engineering education Smart Innovation. *Systems and Technologies*. 2020; 172: 911-917.
- [25] **Mikhel'kevich V, Ovchinnikova L, Chugunova S, Polovinkina A.** Developing engineering students' ability to create innovative competitive technical transport facilities. AIP Conference Proceedings. Ser. "Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021" 2021. P.100001.
- [26] **Kuznetsova MI.** Design as a means of implementing the program "Ural engineering school" [In Russian]. *Alley of Science*. 2019; 1(3): 763-767.
- [27] **Kovshov EE, Lesin SM, Kuvshinnikov VS.** Digital Engineering School: Innovative Scientific and Educational Project [In Russian]. *Interactive education*. 2020; 2: 59-63.
- [28] **Frenet S.** Selected pedagogical works [In Russian]. Trans. from French. Moscow: Progress, 1990. 304 p.
- [29] **Merenkov AV, Melnikova OYa.** Practices for organizing the training of engineering personnel in demanded industries [In Russian]. *Engineering education*. 2021; 29: 23-33.
- [30] **Eltsov VV.** Conditions for the formation of a corps of professional engineers in the Russian Federation [In Russian]. *Engineering education*. 2020; 28: 31-41.

## About the authors

**Gulnara Fazulyanovna Akhmedyanova** (b. 1962). Graduated from the Orenburg Polytechnic Institute (1984), Ph.D. (2015). Associate Professor of the Department of Management and Informatics in Technical Systems of the Orenburg State University. There are over hundred works in the list of scientific papers. SPIN: 5731-9945; AuthorID: 674304; ORCID: 0000-0003-3284-7794; ScopusID: 57202281622. [ahmedyanova@bk.ru](mailto:ahmedyanova@bk.ru). ✉

**Alexander Mikhailovich Pishchukhin** (b. 1955). Graduated from the Orenburg Polytechnic Institute (1977), Doctor of Technical Sciences. (2001). Professor of the Department of Control and Informatics in Technical Systems of the Orenburg State University. Specialist in the field of automation, systems analysis and management. There are 300 works in the list of scientific papers. SPIN: 6308-2320; AuthorID: 409347; ResearcherID: P-9023-2015; ORCID: 0000-0003-4655-6824; ScopusID: 57193740929. [pishchukhin55@mail.ru](mailto:pishchukhin55@mail.ru).

Received June 29, 2022, Revised August 26, 2022. Accepted September 01, 2022.

## ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 629.58

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-310-324



### Описание и диагностирование неисправностей в автономных необитаемых подводных аппаратах на основе онтологий

© 2022, А.А. Тимошенко<sup>1,2</sup>✉, А.В. Зуев<sup>1,2</sup>, Э.Ш. Мурсалимов<sup>1,2</sup>, В.В. Грибова<sup>3</sup>, А.В. Инзарцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), Владивосток, Россия

<sup>3</sup> Институт автоматики и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН, Владивосток, Россия

#### Аннотация

В работе предложены новые онтологии для описания и диагностирования неисправностей подсистем автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в рамках развития подхода к интеллектуальному диагностированию таких аппаратов с помощью баз знаний. Для реализации этого подхода предложено использовать две базы знаний, одна из которых описывает неисправности, признаки для их определения и действия, необходимые для адаптации к негативным последствиям, вызванным появлением неисправностей. Другая база содержит информацию об основных подсистемах АНПА, устройствах и сменных модулях, а также состояниях, в которых они могут находиться. Базы знаний используются в работе интеллектуальной контрольно-аварийной системы (ИКАС) на борту АНПА. ИКАС позволяет обеспечить комплексное функциональное диагностирование всех подсистем аппарата, включая модули полезной нагрузки, а также адаптацию к последствиям возникающих неисправностей с учётом реально имеющихся причинно-следственных связей между ними. Предложенные онтологии для указанных баз знаний компактны, что позволяет использовать ИКАС на борту АНПА. Для поддержания актуальной информации о возможных неисправностях предлагается осуществлять непрерывное удалённое сопровождение ИКАС с помощью программной интернет-платформы разработки и поддержки интеллектуальных облачных сервисов *IASaaS*. Для проверки работоспособности ИКАС был разработан её прототип, реализующий функции обработки баз знаний и выработки решений по адаптации к неисправностям. Результаты моделирования работы прототипа показали, что ИКАС выполняет поставленные задачи и может быть реализована на бортовых вычислителях существующих АНПА с применением известных технологий программирования.

**Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, контрольно-аварийная система, диагностирование, онтология, интеллектуальная система, база знаний.

**Цитирование:** Тимошенко А.А., Зуев А.В., Мурсалимов Э.Ш., Грибова В.В., Инзарцев А.В. Описание и диагностирование неисправностей в автономных необитаемых подводных аппаратах на основе онтологий // Онтология проектирования. 2022. Т.12, № 3(45). С.310-324. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-310-324.

**Финансирование:** исследование выполнено за счёт гранта РФФИ № 22-29-01303.

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

#### Введение

В настоящее время автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) активно используются для исследования и освоения Мирового океана [1-5]. Последние разработки в

области подводной робототехники направлены на расширение спектра задач, выполняемых АНПА, в том числе по автоматизированной добыче и транспортировке полезных ископаемых, а также по обслуживанию подводных комплексов и газопроводов [6-8]. Выполнение этих задач предполагает длительное функционирование АНПА без обслуживания, что повышает риск появления дефектов и отказов в различных подсистемах и модулях этих аппаратов, приводящих к прерыванию выполняемых задач или даже потере дорогостоящего оборудования. Поэтому важной задачей является обеспечение надёжного функционирования АНПА и своевременное обнаружение возникающих неисправностей. Для продолжения выполняемых подводных работ желательно обеспечить оперативное парирование последствий этих неисправностей за счёт коррекции управляющих сигналов или программ-заданий [9].

Для диагностирования неисправностей современные АНПА оснащаются контрольно-аварийными системами (КАС) [10-14]. К наиболее распространённому набору выполняемых КАС функций относятся: выявление неисправностей бортового оборудования, аварийное завершение миссии с последующим всплытием аппарата на поверхность или формирование аварийных сигналов, если самостоятельное всплытие невозможно.

Существующие КАС, как правило, анализируют состояние подсистем АНПА изолированно друг от друга. Во многих случаях возможно появление неоднозначных ситуаций, для разрешения которых требуется комплексная оценка состояния взаимосвязанных подсистем аппарата. Такими ситуациями, например, являются последствия выхода из строя датчиков внешней среды; неоднозначная связь между неисправностью устройства и датчиками, которые контролируют его состояние; серия «независимых» аварий, являющихся следствием одной, напрямую не выявляемой неисправности [14]. Кроме того, существующие КАС не реализуют адаптацию к последствиям возникающих неисправностей, позволяющую продолжить выполнение миссий и операций. Можно отметить, что все известные подходы к построению указанных систем для АНПА не предполагают реализацию функционального диагностирования, т.е. проверку в процессе выполнения миссий правильности функционирования отдельных подсистем аппарата [15].

В работах [16-19] были предложены решения задачи синтеза *систем функционального диагностирования* (СФД) для АНПА с помощью банков наблюдателей для движителей [16,17] и навигационно-пилотажных датчиков [18,19]. Эти решения узкоспециализированы и не имеют реализации для модулей различной полезной нагрузки, а также сменного оборудования. Существующие СФД выполняют свои функции на основе сигналов и параметров только той подсистемы АНПА, для которой были созданы.

Для реализации комплексной диагностики робототехнических систем в последние годы прибегают к методам искусственного интеллекта с использованием баз знаний (БЗ), построенных на основе онтологического подхода [14, 20-22]. В работе [20] описана технология построения модели робота на основе онтологий для задач управления и диагностики, а в работе [21] показано применение данной технологии для подводного робота *UX-1*. В работе [22] предпринята попытка формализации ошибок, которые могут возникнуть в процессе функционирования манипулятора, но результаты работы не применимы к подводным роботам.

В работе [14] предложена концепция интеллектуальных КАС (ИКАС), использующих БЗ для комплексного анализа неисправностей АНПА и выработки решений по адаптации к ним. БЗ позволяют формально описать неисправности и признаки для их определения, а онтологический подход к построению БЗ позволяет унифицировать их структуру и включить в процесс разработки экспертов предметной области (Про), которые обеспечивают их качественное наполнение. Для непрерывного удалённого сопровождения БЗ в работе предложено использовать программную интернет-платформу разработки и поддержки интеллектуальных облачных сервисов *IACPaas* [23].

Актуальной остаётся задача построения КАС для АНПА, обеспечивающих комплексное функциональное диагностирование всех подсистем аппарата, включая модули полезной нагрузки, и адаптацию к возникающим неисправностям с учётом имеющихся причинно-следственных связей между ними.

## 1 Постановка задачи

Целью настоящей работы является разработка онтологий для формирования БЗ, используемых в ИКАС для описания и диагностирования неисправностей бортовых подсистем АНПА. Эти онтологии должны иметь простую структуру, учитывать различные конфигурации подводных аппаратов, повысить их универсальность и упростить создание и эксплуатацию ИКАС.

## 2 Описание подхода к решению задачи

Функционирование ИКАС должно осуществляться с помощью БЗ, построенных на основе онтологического подхода, а непрерывное удалённое сопровождение БЗ экспертами Про обеспечиваться использованием интернет-платформы разработки и поддержки интеллектуальных облачных сервисов *IACPaas* [23]. В процессе функционирования АНПА, как правило, не имеет доступа к сети Интернет, поэтому БЗ должны обрабатываться автономно на борту АНПА и между его запусками.

В настоящей работе предложено использовать две разные по назначению БЗ. Основная БЗ должна содержать информацию о возможных неисправностях в используемом бортовом оборудовании АНПА, признаках для их обнаружения и возможных действиях для адаптации к ним. Во время длительных исследовательских экспедиций могут изменяться конфигурация конкретного АНПА за счёт установки различных вариантов полезной нагрузки и возможные неисправности АНПА. Поэтому вторая БЗ должна описывать набор компонентов и сменных модулей, из которых может состоять АНПА, и состояний, в которых они могут находиться. Содержимое этих БЗ определяется соответствующими онтологиями, которые должны иметь простую и логичную структуру для удобства их понимания и сопровождения экспертом.

## 3 Разработка общей схемы работы ИКАС

Назначением ИКАС является выявление *диагностических ситуаций* (ДС), возникающих в процессе работы АНПА, и выработка действий, необходимых для устранения или минимизации последствий, вызванных появлением неисправностей. ДС – это особое состояние АНПА, выраженное в возникновении одной или нескольких неисправностей в подсистемах аппарата и требующее проведения дополнительных диагностических или адаптационных действий. В работе предлагается определять наличие каждой возникающей ДС путём вычисления логического выражения, элементами которого являются *атомарные признаки* (АП), под которыми понимаются элементарные состояния подсистем АНПА. АП не делятся на более мелкие состояния и могут принимать значения *истина* или *ложь*. Источниками АП могут являться отдельные датчики АНПА, вырабатывающие логический сигнал (например, датчик воды в отсеке), встроенные системы самодиагностики отдельных устройств, а также СФД, входящие в состав ИКАС.

Обобщённая структурная схема предлагаемой ИКАС показана на рисунке 1 и включает следующие основные элементы.

- БЗ ДС содержит информацию о ДС, соответствующих текущей конфигурации АНПА, АП, необходимых для их определения, и действиях, предпринимаемых при обнаружении неисправностей.
- БЗ конфигурации АНПА содержит информацию об устройствах и модулях, из которых состоит АНПА, а также АП, которые могут быть ими сгенерированы.
- Интерфейс синхронизации с облачной платформой IACPaaS необходим для обновления БЗ на АНПА вне миссии при подключении к сети Интернет, т.к. ИКАС на АНПА работает автономно и использует только ту часть знаний, которая относится к текущей конфигурации АНПА.
- Автономный решатель ИКАС - основной элемент ИКАС, осуществляющий анализ АП, декодирование БЗ, определение ДС и назначение соответствующих адаптационных действий.
- Библиотеки интеллектуальных агентов ИКАС отвечают за выполнение действий, назначаемых решателем ИКАС при обнаружении ДС. Действия могут быть направлены как непосредственно на адаптацию к неисправностям, так и на проведение дополнительных диагностических действий для уточнения состояния АНПА.
- Взаимодействие ИКАС с интеллектуальной управляющей системой (ИУС) АНПА происходит посредством интерфейса обмена данными с ИУС. К этим данным относятся параметры и выходные сигналы подсистем АНПА, а также команды и запросы, отправляемые ИКАС.



Рисунок 1 – Обобщённая структурная схема работы ИКАС

СФД формируют АП на основе анализа данных, получаемых от бортовых сенсоров и устройств АНПА через интерфейс обмена данными, с использованием специальных алгоритмов, в том числе на основе диагностических наблюдателей.

В сопровождении ИКАС во время её эксплуатации участвуют: эксперт ПрО, программист-разработчик и оператор АНПА. Эксперт ПрО должен отвечать за наполнение и обновление БЗ, располагающихся на облачной платформе IACPaaS, понимать основные процессы, происходящие в АНПА во время его функционирования, знать по каким признакам можно определить неисправности бортового оборудования и что необходимо сделать для обеспечения безопасного завершения выполняемых миссий. Программист-разработчик отвечает за программную реализацию ИКАС на бортовом компьютере АНПА и настройку интерфейса обмена данными с ИУС. Архитектура ИУС может не предполагать считывание параметров и выходных сигналов вновь установленного оборудования полезной нагрузки. Поэтому может потребоваться разработать дополнительный блок ИУС, который обеспечит доступ к указан-

ным данным для стороннего программного обеспечения (ПО). Оператор является конечным пользователем ИКАС. Его задачей является определение конфигурации АНПА до начала миссий с помощью соответствующего пользовательского интерфейса.

## 4 Разработанные онтологии

### 4.1 Онтология ДС

Онтология ДС содержит описание отношений между АП, ДС и действиями для их разрешения. Упрощённо её можно представить в виде ориентированного графа (рисунок 2), вершинами которого являются понятия, а рёбра показывают отношения между ними.

Центральным понятием предложенной онтологии является ДС, которая определяется как результат логического выражения, элементами которого являются АП. В онтологии не реализуются логические операции, а только устанавливаются связи между понятиями. Например, на рисунке 2 к понятию «Конъюнкция» ведут три ребра из понятий «Дизъюнкция», «Отрицание» и «Атомарный признак».

Это означает, что любое из трёх понятий или их совокупность могут быть элементами конъюнкции, например «конъюнкция 1 = атомарный признак 1  $\wedge$  атомарный признак 2  $\wedge$  дизъюнкция 1  $\wedge$  отрицание 1». При этом из понятия «Конъюнкция» ведёт ребро к понятию «Дизъюнкция», это значит, что результат этой конъюнкции может быть элементом дизъюнкции, например: «дизъюнкция 2 = конъюнкция 1  $\vee$  атомарный признак 3 = (атомарный признак 1  $\wedge$  атомарный признак 2  $\wedge$  дизъюнкция 1  $\wedge$  отрицание 1)  $\vee$  атомарный признак 3». Логические операции осуществляются в автономном решателе ИКАС. Примеры ДС для АНПА и их логических условий согласно предложенной онтологии приведены в таблице 1. Верхнее условие для каждой ДС задано напрямую, интуитивно, тогда как альтернативное условие является эквивалентным, оптимизированным по известным законам де Моргана [24].

В таблице 1 каждой ДС соответствует определённое действие, которое может состоять из нескольких более мелких действий, порядок которых определяется их типом: аварийное, адаптационное или диагностическое. *Аварийное действие* (завершение миссии, всплытие со сбросом балласта) имеет наивысший приоритет, выполняется в первую очередь по сравнению с другими командами, вызывается при неисправностях АНПА, делающих невозможным дальнейшее функционирование АНПА в качестве носителя полезной нагрузки. *Адаптационное действие* (восстановление навигационной системы) имеет средний приоритет, вызывается для компенсации последствий возникающих дефектов. *Диагностическое действие* (приостановка миссии и т.п.) имеет наименьший приоритет, вызывается при возникновении неоднозначных ситуаций, когда один или несколько АП могут сигнализировать о неисправностях и требуется дополнительная диагностика подсистем АНПА. Онтология в IASPaasS показана на рисунке 3, а пример описания некоторых ДС из таблицы 1 – на рисунке 4.

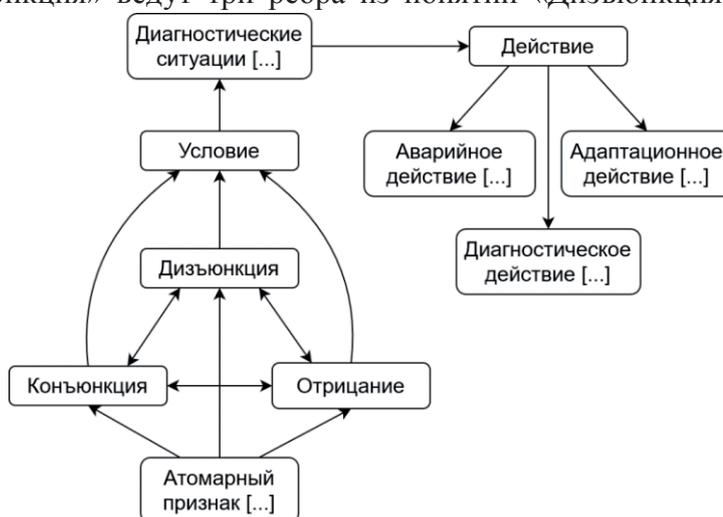


Рисунок 2 – Онтология диагностических ситуаций

Таблица 1 – Примеры типовых ДС, возникающих в АНПА (КСКАБ – контроллер силовых ключей аккумуляторной батареи, АВБ – аварийная батарея, КАБ – контроллер аккумуляторной батареи)

№	ДС	Условие	Действие
1	Невозможность запуска миссии	¬Выполняется миссия $\Lambda$ (¬версия встроенного ПО КСКАБ актуальна $\vee$ ¬АВБ исправно $\vee$ ¬параметры КАБ в допустимых пределах $\vee$ ¬есть связь со всеми батареями) <u>Альтернативное условие:</u> ¬(Выполняется миссия $\vee$ (версия встроенного ПО КСКАБ актуальна $\wedge$ АВБ исправно $\wedge$ параметры КАБ в допустимых пределах $\wedge$ есть связь со всеми батареями))	Запрет запуска миссии (Аварийное действие)
2	Необходимость прекращения миссии без сброса балласта	Выполняется миссия $\Lambda$ (обнаружение береговой линии $\vee$ ¬параметры КАБ в допустимых пределах $\vee$ ¬есть связь с батареями 1 $\vee$ ¬есть связь с батареей 2 $\vee$ ¬есть связь с батареей 3) <u>Альтернативное условие:</u> Выполняется миссия $\Lambda$ (обнаружение береговой линии $\vee$ ¬(параметры КАБ в допустимых пределах $\wedge$ есть связь с батареей 1 $\wedge$ есть связь с батареей 2 $\wedge$ есть связь с батареей 3))	Экстренное завершение миссии (Аварийное действие)
3	Необходимость прекращения миссии со сбросом балласта	Выполняется миссия $\Lambda$ (аварийное отключение батареи $\vee$ нет навигации для галса $\vee$ ¬маршевая группа исправна $\vee$ ¬есть связь с батареей 1 $\wedge$ ¬есть связь с батареей 2 $\wedge$ ¬есть связь с батареей 3)) <u>Альтернативное условие:</u> Выполняется миссия $\Lambda$ (аварийное отключение батареи $\vee$ нет навигации для галса $\vee$ ¬(маршевая группа исправна $\wedge$ (есть связь с батареей 1 $\vee$ есть связь с батареей 2 $\vee$ есть связь с батареей 3)))	Экстренное завершение миссии (Аварийное действие), сброс балласта (Аварийное действие)
4	Необходимость восстановления навигационной системы	Выполняется миссия $\Lambda$ ¬навигационные данные достоверны $\wedge$ ¬выставка навигационных данных в процессе <u>Альтернативное условие:</u> Выполняется миссия $\Lambda$ ¬(навигационные данные достоверны $\vee$ выставка навигационных данных в процессе)	Восстановление навигационной системы (Адаптационное действие)
5	Возможно, произошло намагничивание мусора на винт / заклинивание вала движителя маршевой группы	Задаётся движение $\Lambda$ (¬свободное вращение маршевой группы $\vee$ ¬допустимая ошибка движения по траектории $\vee$ ¬допустимая температура силовых ключей маршевой группы) <u>Альтернативное условие:</u> Задаётся движение $\Lambda$ ¬(свободное вращение маршевой группы $\wedge$ допустимая ошибка движения по траектории $\wedge$ допустимая температура силовых ключей маршевой группы)	Приостановка миссии (Диагностическое действие, ДД), перевод АНПА в режим зависания (Диагностическое действие), штатное тестирование движителя (ДД)

Таким образом, предложенная онтология позволяет формально описать все ДС с помощью логических выражений, используя при этом меньшее число понятий и имея простую структуру.

## 4.2 Онтология конфигурации АНПА

Онтология конфигурации АНПА содержит описание отношений между основными подсистемами (блоками) АНПА, относящимися к ним устройствами и сменными модулями (элементами АНПА), и АП. Она связана с онтологией ДС через понятие «АП». При сопровождении БЗ на платформе *IACPaaS* эксперт должен описать конфигурацию АНПА и после этого наполнять базу ДС, делая ссылки на АП, генерируемые различными подсистемами и сменными модулями АНПА. Схема онтологии приведена на рисунке 5, а пример её представления на платформе *IACPaaS* показан на рисунке 6.

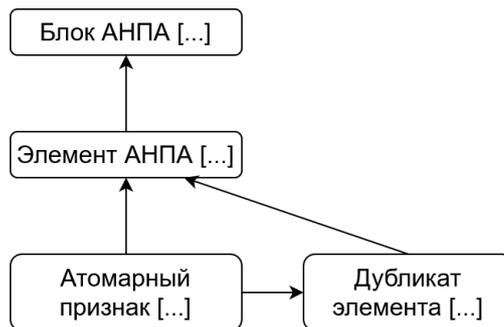
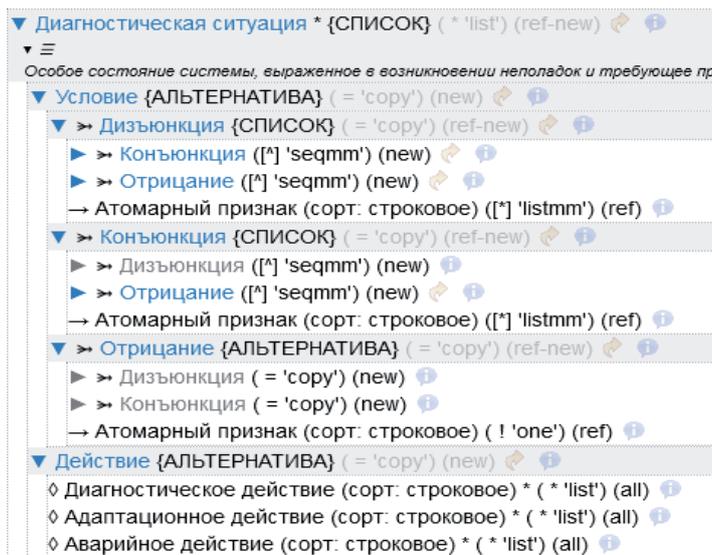


Рисунок 3 – Схема онтологии конфигурации АНПА

Рисунок 4 – Онтология ДС на платформе IASPaas

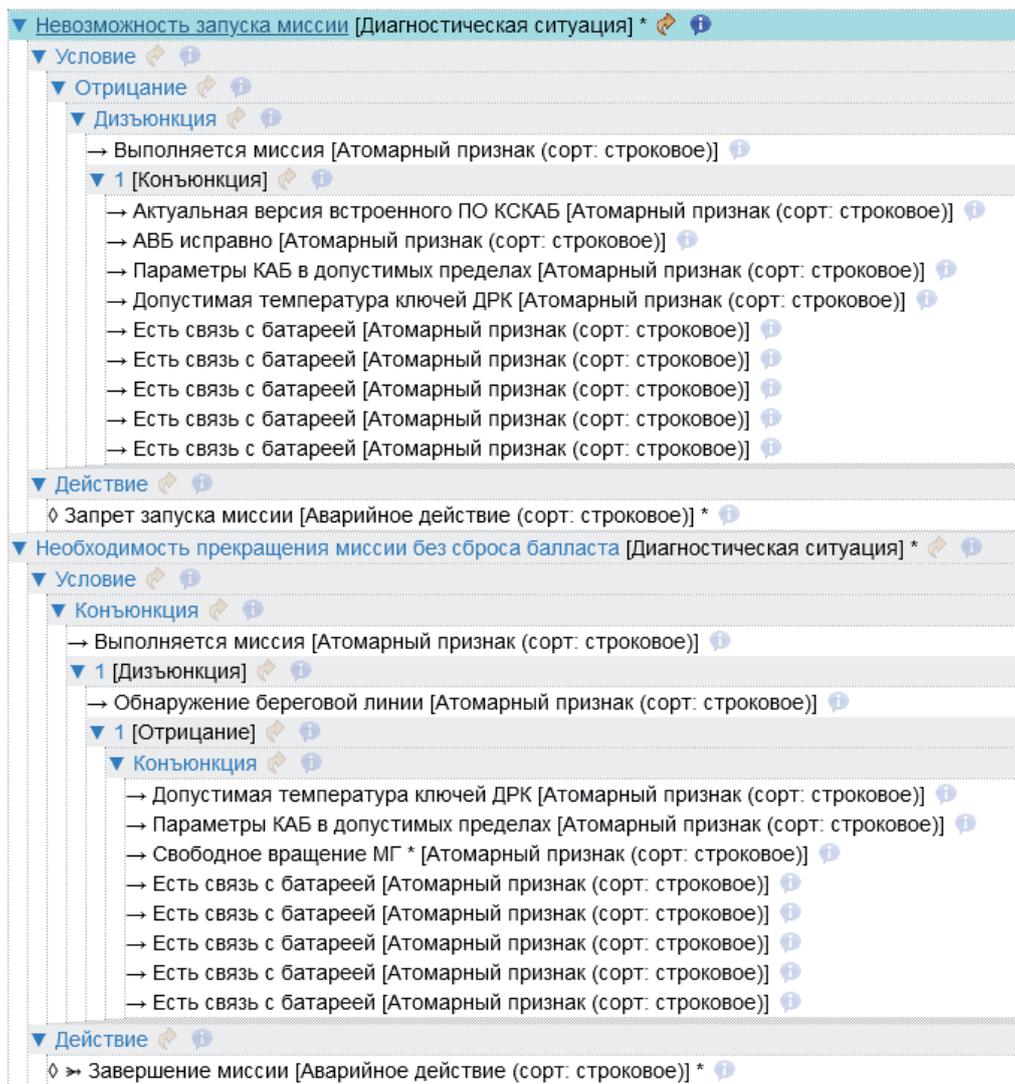


Рисунок 5 – Фрагмент БЗ ДС на платформе IASPaas

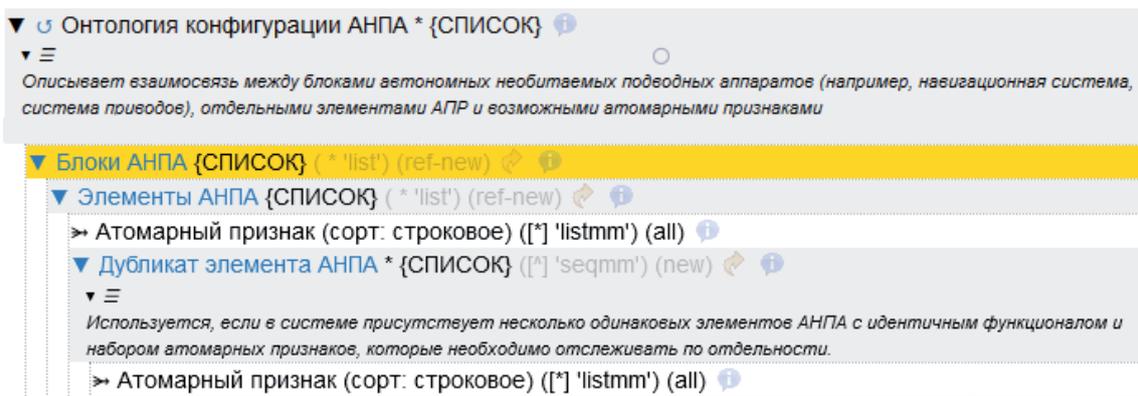


Рисунок 6 – Онтология конфигурации АНПА на платформе IACPaaS

В онтологию введено понятие «дубликат элемента» (см. рисунок 3). Это обусловлено тем, что определённые конфигурации АНПА имеют несколько идентичных элементов с одинаковым набором атомарных признаков, например, несколько батарейных модулей, несколько фотокамер и т.п. В таблице 1 приведены определения ДС «Необходимость прекращения миссии без сброса балласта» и «Необходимость прекращения миссии со сбросом балласта». Первая ситуация возникает, если есть связь хотя бы с одной из батарей, вторая – если связи нет ни с одной из батарей. В результате необходимо отслеживать состояние каждой из батарей индивидуально, что обеспечивается введением в онтологию дубликатов, копирующих АП оригинала. Пример описания БЗ конфигурации АНПА на платформе IACPaaS приведён на рисунке 7.

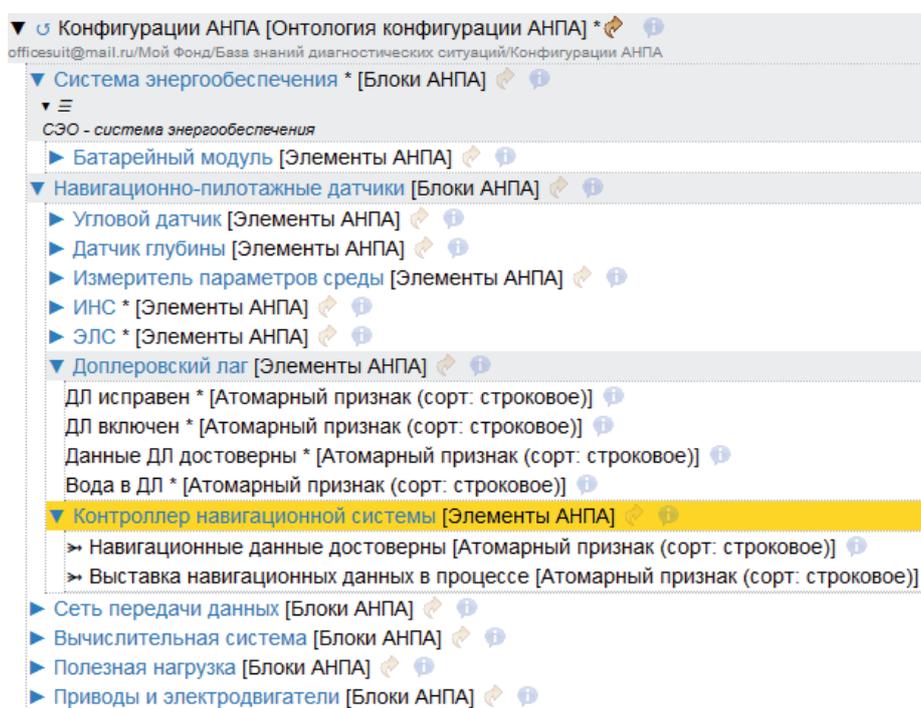


Рисунок 7 – Фрагмент описания конфигурации АНПА на платформе IACPaaS

## 5 Разработка прототипа ИКАС и моделирование его работы

Для исследования эффективности подхода к описанию и диагностированию неисправностей разработан прототип ИКАС на языке *Python*. Прототип реализует часть функций ИКАС, а именно чтение и декодирование БЗ, сформированных с помощью платформы *IASPaas*, а также вычисление ДС на основе АП и вывод действий для их разрешения.

Для проверки работы прототипа ИКАС было проведено компьютерное моделирование, при котором имитировались различные неисправности оборудования АНПА, включая случаи возникновения одновременно нескольких неполадок, а также неоднозначных ситуаций, требующих дополнительных действий со стороны АНПА для точного определения конкретного вида поломки. При этом моделировалось возникновение АП, так как формируемый в ИКАС результат зависит именно от них. На данном этапе моделирования это позволило проводить проверку работоспособности прототипа без использования реальной ИУС АНПА или её модели.

Прототип ИКАС состоит из СФД, работающих параллельно (см. рисунок 8). СФД анализируют параметры и выходные сигналы элементов АНПА и формируют значения АП. При этом СФД анализируют не только простые неисправности (например, релейное срабатывание или преобразование данных), но и реализуют математический аппарат наблюдателей [10-13]. Каждая СФД формирует значение одного АП, поэтому для  $k$  признаков создаётся  $k$  СФД.

Предполагается, что СФД имеют разные режимы работы, зависящие от метода, используемого для анализа параметров АНПА. В рамках моделирования реализован только тестовый режим, подразумевающий случайное переключение значения АП в случайный момент времени в интервале 1-5 секунд. Из-за параллельной работы СФД при случайном изменении АП возникают ситуации, при которых неисправности проявляются квазиодновременно, а предложенная ИКАС должна отработать такие ситуации.

В данной реализации ИКАС имитируется событийная модель его работы. При этом решатель с некоторой частотой считывает значения вектора АП и сравнивает их с предыдущи-

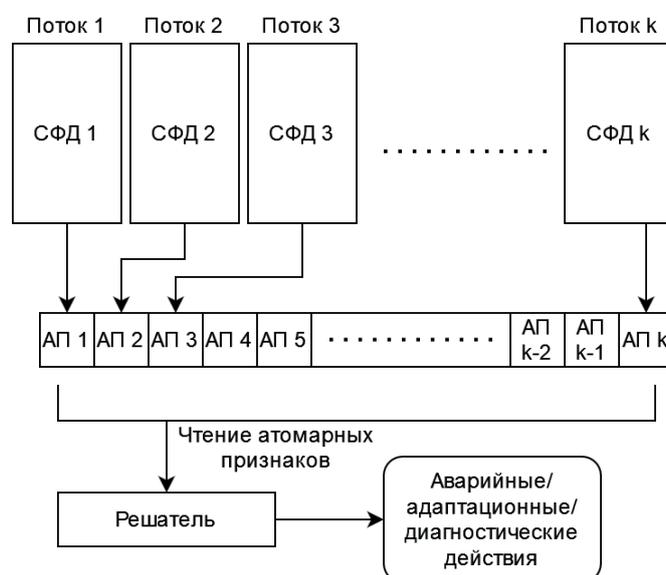


Рисунок 8 – Обобщённая схема работы алгоритма

```

-----
"Выполняется миссия": True
"Актуальная версия встроенного ПО КСКАБ": True
"АВБ исправно": True
"Параметры КАБ в допустимых пределах": False
"Есть связь с батареей": True
"Есть связь с батареей": False
"Есть связь с батареей": False
"Есть связь с батареей": False
"Есть связь с батареей": True
"Обнаружение береговой линии": False
"Аварийное отключение батареи": False
"Нет навигации для галса": True
"МГ исправна": True
"Навигационные данные достоверны": True
"Выставка навигационных данных в процессе": True
"Задается движение": False
"Свободное вращение МГ": False
"Допустимая ошибка движения по траектории": False
"Допустимая температура силовых ключей МГ": False
-----
Необходимость прекращения миссии без сброса балласта:
--->Аварийное действие:Завершение миссии
Необходимость прекращения миссии со сбросом балласта:
--->Аварийное действие:Завершение миссии
--->Аварийное действие:Сброс балласта
-----
    
```

Рисунок 9 – Фрагмент результата работы программы

ми. Если они были изменены, то запускается вычисление ДС и производится вывод необходимых аварийных, адаптационных или диагностических действий в виде текстового сообщения.

Так как операция вычисления ДС может быть достаточно ресурсоёмкой при обширной БЗ, то предложенная событийная модель работы решателя, по сравнению с полностью периодической, позволяет снизить нагрузку на бортовой вычислитель АНПА в случае отсутствия неисправностей. Взаимодействие с БЗ ДС и конфигурации аппарата происходит с помощью рекурсивного обхода графа.

Для адекватной оценки работы алгоритма и отработки различных возможных состояний АНПА СФД работают в некотором конечном цикле с нефиксированной периодичностью. Множественные изменения значений АП отрабатываются решателем согласно определениям ДС, приведённым в таблице 1, при этом БЗ ИКАС формируются непосредственно из файлов, загруженных с облачного сервиса *IACPaas*.

В процессе работы прототип ИКАС выводит в консольное окно текстовую информацию о результатах своей работы при каждом изменении вектора АП (см. рисунок 9). При этом сначала отображаются все АП и их текущие логические значения (*True* или *False*), подаваемые на вход решателя, далее выводятся выявленные в результате работы решателя ДС и необходимые для выполнения действия. В данном случае проверялась реакция ИКАС на случайную комбинацию АП, постоянно изменяющуюся в ходе моделирования, и её способность обрабатывать информацию из БЗ, построенных по предложенным онтологиям. На рисунке показана одна из возможных комбинаций вектора АП и соответствующие им ДС. Из этого рисунка видно, что текущие логические значения АП соответствуют двум ДС (№ 2 и № 3, см. таблицу 1).

Эти логические значения были обработаны решателем, который в результате вывел в консоль информацию о необходимости выполнения двух аварийных действий. В данном случае приоритет этих действий совпадает (оба аварийные), поэтому они будут выполняться совместно. В случаях, когда определяется несколько ДС, например, №2 и №4 (см. таблицу 1), аварийное действие (завершение миссии) должно выполняться раньше адаптационного (восстановление навигационной системы).

## Заключение

В работе предложены онтологии для построения БЗ, предназначенных для описания и диагностирования неисправностей, возникающих в процессе функционирования АНПА, и описана схема работы ИКАС, основанная на использовании этих БЗ. Работа ИКАС позволяет обеспечивать безопасное завершение или продолжение выполняемых роботом миссий в случае обнаружения неисправностей бортового оборудования АНПА за счёт функционального диагностирования всех подсистем и сменных модулей аппарата, в том числе модулей полезной нагрузки. Используемые БЗ описывают конфигурацию АНПА, возможные ДС, условия для их определения и действия, которые необходимо предпринять для их разрешения, разработанные онтологии обладают упрощённой и интуитивно понятной структурой, что облегчает реализацию и последующую эксплуатацию ИКАС.

Эффективность предложенного решения проверена с использованием созданного прототипа ИКАС, в котором реализованы функции автономного решателя ИКАС, заключающиеся в обработке БЗ с целью определения ДС и выработке команд по их разрешению. Результаты моделирования подтвердили работоспособность прототипа ИКАС и предложенного подхода к описанию и диагностированию неисправностей бортовых подсистем АНПА.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф.** Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение // Под ред. Л.В. Киселева; Владивосток: ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. 2018. 368 с.
- [2] **Antonelli G.** Underwater Robots. Springer International Publishing Switzerland. 2014. 279 p.
- [3] **Dhanak M.R., Xiros N.I.** (ed.). Springer handbook of ocean engineering. Springer, 2016.
- [4] **Боровик А.И.** Технология использования АНПА для исследования подводных потенциально опасных объектов в Карском Море. *Подводные исследования и робототехника*. 2022. Т.39. №1. С.32-40. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_39\_01\_03.
- [5] **Бабаев Р.А., Боловин Д.А., Борейко А.А. и др.** Технология использования АНПА для исследования глубоководных экосистем Атлантического сектора Антарктики. *Подводные исследования и робототехника*. 2020. Т.32. №2. С.13-21. DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.002.
- [6] **Филаретов В.Ф., Климчик А.С., Юхимец Д.А., Коноплин А.Ю., Зуев А.В.** Интеллектуальные подводные робототехнические комплексы для выполнения осмотровых и технологических операций на морских газопроводах и добычных комплексах. *Газовая промышленность*. 2020. Т.804. №8. С.30-38.
- [7] **Ghis S., Fischer E.** Record-Setting AUV Pipeline Inspection in Deepwater West Africa. *Offshore Technology Conference*. OnePetro. 2017.
- [8] **Kowalczyk M., Claus B., Donald C.** AUV integrated cathodic protection iCP inspection system—results from a North Sea survey. *Offshore Technology Conference*. OnePetro. 2019.
- [9] **Zhang S., Li Y., Liu S., Shi S., Chai H., Cui Y.** A Review on Fault-Tolerant Control for Robots. Proc. of the 35th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC). Zhanjiang, China. 2020. P.423-427.
- [10] SeaRaptor Teledyne. <http://www.teledynemarine.com/searaptor-auv>.
- [11] Osprey Teledyne. <http://www.teledynemarine.com/osprey-auv?BrandID=9>.
- [12] Remus-100 Autonomous Underwater Vehicles (2013). <https://www.naval-technology.com/projects/remus-100-automatic-underwater-vehicle/>.
- [13] **Елисеенко Г.Д., Инзарцев А.В., Павин А.М.** Многоуровневая распределенная контрольно-аварийная система АНПА. *Подводные исследования и робототехника*. 2020. Т.34. №4. С.23-30. DOI: 10.37102/24094609.2020.34.4.003.
- [14] **Инзарцев А.В., Грибова В.В., Клещев А.С.** Интеллектуальная система для формирования адекватного поведения автономного подводного робота в аварийных ситуациях. *Подводные исследования и робототехника*. 2015. № 2(20). С.4-11.
- [15] **Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M.** Diagnosis and fault-tolerant control (3rd ed.). Berlin: Springer, 2016. 695 p.
- [16] **Zuev A.V., Zhirabok A.N., Filaretov V.F.** Fault identification in underwater vehicle thrusters via sliding mode observers. *Int. Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 2020. Vol.30. No.4. P.1-6.
- [17] **Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Жирабок А.Н., Проценко А.А.** Разработка системы аккомодации к дефектам в движителях подводных роботов. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2021. Т.22. № 5. С.262-271.
- [18] **Филаретов В.Ф., Жирабок А.Н., Зуев А.В., Проценко А.А.** Метод синтеза систем диагностирования и аккомодации к дефектам в навигационных датчиках автономных подводных аппаратов. *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2015. Т.13. №7. С.32-40.
- [19] **Жирабок А.Н., Зуев А.В., Проценко А.А., Туфанов И.Е., Филаретов В.Ф., Щербатюк А.Ф.** Построение и экспериментальные исследования системы счисления пути малогабаритного автономного необитаемого подводного аппарата с аккомодацией к ошибкам в показаниях датчиков. *Датчики и системы*. 2015. №11. С.60-67.
- [20] **Bermejo-Alonso J., Hernández C., Sanz R.** Model-based engineering of autonomous systems using ontologies and metamodels. *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*. IEEE, 2016. P.1-8.
- [21] **Hernandez Corbato C., Milosevic Z., Olivares C., Rodriguez G., Rossi C.** Meta-control and Self-Awareness for the UX-1 Autonomous Underwater Robot. *Iberian Robotics conference*. Springer, Cham, 2019. P.404-415.
- [22] **Diab M., Pomarlan M., Beßler D., Akbari A., Rosell J., Bateman J., Beetz M.** An ontology for failure interpretation in automated planning and execution. *Iberian Robotics conference*. Springer, Cham, 2019. P.381-390.
- [23] **Gribova V., Kleshev A., Moskalenko P., Timchenko V., Fedorisdiev L., Shalfeeva E.** The IACPaaS cloud platform: Features and perspectives. *Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC)*. IEEE, 2017. P.80-84.
- [24] **Завалишин Е.П.** Логика. Тула: ТулГУ. 2017.

## Сведения об авторах



**Тимошенко Александр Алексеевич**, 1998 г. рождения. Окончил бакалавриат Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) в 2020 г. Магистрант ДВФУ по направлению «Мехатроника и робототехника». Младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных информационных систем для морских роботов ИПМТ ДВО РАН. ORCID: 0000-0003-1356-9602; SPIN-код автора (РИНЦ): 3728-8730; Author ID (Scopus): 57381191200; Researcher ID (WoS): AAD-2314-2022. [timoshenko.aal@mail.ru](mailto:timoshenko.aal@mail.ru)✉.

**Зувев Александр Валерьевич**, 1985 г. рождения. Окончил Дальневосточный государственный технический университет в 2007 г., к.т.н. (2010). Зам. директора по научной работе ИПМТ ДВО РАН и доцент департамента автоматике и робототехники ДВФУ. В списке научных трудов более 140 работ. ORCID: 0000-0002-0934-6222; SPIN-код автора (РИНЦ): 3691-4666; Author ID (Scopus): 24924111800; Researcher ID (WoS): E-4458-2014. [zuev@marine.febras.ru](mailto:zuev@marine.febras.ru).



**Мурсалимов Эдуард Шамилевич**, 1987 г. рождения. Окончил Дальневосточный государственный университет в 2009 г., к.т.н. (2017). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных информационных систем для морских роботов ИПМТ ДВО РАН, старший преподаватель департамента автоматике и робототехники ДВФУ. В списке научных трудов более 50 работ. ORCID: 0000-0002-0966-5573; SPIN-код автора (РИНЦ): 1103-5147; Author ID (Scopus): 41961508500; Researcher ID (WoS): E-4525-2014. [eduard-mursalimov@yandex.ru](mailto:eduard-mursalimov@yandex.ru).

**Грибова Валерия Викторовна**, 1965 г. рождения. Окончила Ленинградский ордена Ленина политехнический институт им. М.И. Калинина в 1989 году, д.т.н., чл.-корреспондент РАН. Заместитель директора по научной работе Института автоматике и процессов управления ДВО РАН. В списке научных трудов более 300 работ. ORCID: 0000-0001-9393-351X; SPIN-код автора (РИНЦ): 7481-5878; Author ID (Scopus): 7801667631; Researcher ID (WoS): Q-4250-2016. [gribova@iacp.dvo.ru](mailto:gribova@iacp.dvo.ru).



**Инзарцев Александр Вячеславович**, 1960 г. рождения. Окончил Московский физико-технический институт в 1983 г., д.т.н. (2012). Главный научный сотрудник лаборатории систем управления ИПМТ ДВО РАН. В списке научных трудов более 200 работ. ORCID: 0000-0002-1842-9951; SPIN-код автора (РИНЦ): 5254-6980; Author ID (Scopus): 16039196400; Researcher ID (WoS): J-1494-2018. [inzar@marine.febras.ru](mailto:inzar@marine.febras.ru).

Поступила в редакцию 26.07.2022, после рецензирования 24.08.2022. Принята к публикации 5.09.2022.



## Description and diagnosis of malfunctions in autonomous uninhabited underwater vehicles based on ontologies

© 2022, A.A. Timoshenko<sup>1,2</sup>✉, A.V. Zuev<sup>1,2</sup>, E.S. Mursalimov<sup>1,2</sup>, V.V. Gribova<sup>3</sup>, A.V. Inzartsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> Far East Federal University, Vladivostok, Russia

<sup>3</sup> Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok, Russia

### Abstract

The paper proposes new ontologies for describing and diagnosing malfunctions of subsystems of autonomous underwater vehicles (AUVs) as part of the development of a previously created approach to the intelligent diagnosis of these vehicles using knowledge bases. To implement this approach, it is proposed to use two knowledge bases, one of which describes malfunctions, signs for their identification and actions necessary to adapt to the negative consequences caused by the appearance of these malfunctions. Another database contains information about the main subsystems of the AUVs, devices and replaceable modules, as well as the states in which they may be. Knowledge bases are used in the operation of intelligent control and emergency systems (ICES) on the AUV boards, which allow for comprehensive functional diagnostics of all subsystems of the device, including payload modules, as well as adaptation to the consequences of emerging malfunctions, taking into account the actual cause-and-effect relationships between them. The proposed ontologies for the indicated knowledge bases are compact, which makes it possible to use ICES on the AUV boards. To maintain up-to-date information about possible malfunctions, it is proposed to carry out continuous remote maintenance of ICES using the software Internet platform for the development and support of intelligent cloud services IACPaaS. To test the operability of ICES, its prototype was developed, which implements the functions of processing knowledge bases and developing solutions for adapting to faults. The simulation results of the prototype operation showed that ICES fulfills the assigned tasks and can be implemented on the on-board computers of existing AUVs using known programming technologies.

**Key words:** autonomous underwater vehicle, control and emergency system, diagnosis, ontology, intelligent system.

**For citation:** Timoshenko AA, Zuev AV, Mursalimov ES, Gribova VV, Inzartsev AV. Description and diagnosis of malfunctions in autonomous uninhabited underwater vehicles based on ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 310-324. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-310-324.

**Financial Support:** The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-29-01303.

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

### List of figures and table

Figure 1 – Generalized block diagram of ICES

Figure 2 – Ontology of diagnostic situations

Figure 3 – Ontology of diagnostic situations on the IACPaaS platform

Figure 4 – A fragment of the database of diagnostic situations on the IACPaaS platform

Figure 5 – The configuration ontology of AUV

Figure 6 – The ontology of the AUV configuration on the IACPaaS platform

Figure 7 – Example of the description of the AUV configuration on the IACPaaS platform

Figure 8 – Generalized algorithm block diagram

Figure 9 – A fragment of the program result

Table 1 – Examples of typical diagnostic situations that occur in AUV

## References

- [1] **Inzartsev AV, Kiselev LV, Kostenko VV, Matvienko YuV, Pavin AM, Shcherbatyuk AF.** Underwater robotic complexes: systems, technologies, application [In Russian]. Edited by L.V. Kiselev; Vladivostok: FSB Institute of Problems of Marine Technologies FEB RAS. 2018. 368 p.
- [2] **Antonelli G.** Underwater Robots. *Springer International Publishing Switzerland*. 2014. 279 p.
- [3] **Dhanak MR, Xiros NI.** (ed.). Springer handbook of ocean engineering. *Springer*, 2016.
- [4] **Borovik AI.** The technology of using an AUV for the study of underwater potentially dangerous objects in the Kara Sea [In Russian]. *Underwater research and robotics*. 2022; 39(1): 32-40. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_39\_01\_03.
- [5] **Babaev RA, Bolovin DA, Boreyko AA, etc.** The technology of using an AUV for the study of deep-sea ecosystems of the Atlantic sector of Antarctica [In Russian]. *Underwater research and robotics*. 2020; 32(2): 13-21. DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.002.
- [6] **Filaretov VF, Klimchik AS, Yukhimets DA, Konoplin AYU, Zuev AV.** Intelligent underwater robotic complexes for performing inspection and technological operations on offshore gas pipelines and mining complexes [In Russian]. *Gas industry*. 2020; 804(8): 30-38.
- [7] **Ghis S, Fischer E.** Record-Setting AUV Pipeline Inspection in Deepwater West Africa. *Offshore Technology Conference*. OnePetro. 2017.
- [8] **Kowalczyk M, Claus B, Donald C.** AUV integrated cathodic protection iCP inspection system—results from a North Sea survey. *Offshore Technology Conference*. OnePetro. 2019.
- [9] **Filaretov VF, Zuev AV, Zhirabok AN, Percent AA, Subudhi B.** Method of synthesis of systems of continuous accommodation to defects in navigation and aerobatic sensors of autonomous underwater robots [In Russian]. *Mechatronics, automation, control*. 2015; 16(4): 282-288.
- [10] SeaRaptor Teledyne. <http://www.teledynemarine.com/searaptor-auv>.
- [11] Osprey Teledyne. <http://www.teledynemarine.com/osprey-auv?brandId=9>.
- [12] Remus-100 Autonomous Underwater Vehicles (2013). <https://www.naval-technology.com/projects/remus-100-automatic-underwater-vehicle/>.
- [13] **Eliseenko GD, Inzartsev AV, Pavin AM.** Multilevel distributed control and emergency system of AUV [In Russian]. *Underwater research and robotics*. 2020; 34(4): 23-30. DOI: 10.37102/24094609.2020.34.4.003.
- [14] **Inzartsev AV, Gribova VV, Kleshchev AS.** Intelligent system for the formation of adequate behavior of an autonomous underwater robot in emergency situations [In Russian]. *Underwater Research and Robotics*. 2015; 2(20): 4-11.
- [15] **Blanke M, Kinnaert M, Lunze J, Staroswiecki M.** Diagnosis and fault-tolerant control (3rd ed.). Berlin: Springer, 2016. 695 p.
- [16] **Zuev AV, Zhirabok AN, Filaretov VF.** Fault identification in underwater vehicle thrusters via sliding mode observers. *Int. Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 2020; 30(4): 1-6.
- [17] **Filaretov VF, Zuev AV, Zhirabok AN, Protsenko AA.** Development of an accommodation system for defects in underwater robot propellers [In Russian]. *Mechatronics, automation, control*. 2021; 22(5): 262-271.
- [18] **Filaretov VF, Zhirabok AN, Zuev AV, Protsenko AA.** Method of synthesis of diagnostic systems and accommodation to defects in navigation sensors of autonomous underwater vehicles [In Russian]. *Information-measuring and control systems*. 2015; 13(7): 32-40.
- [19] **Zhirabok AN, Zuev AV, Protsenko AA, Tufanov IE, Filaretov VF, Shcherbatyuk AF.** Construction and experimental studies of the path numbering system of a small-sized autonomous uninhabited underwater vehicle with accommodation to errors in sensor Readings [In Russian]. *Sensors and Systems*. 2015; 11: 60-67.
- [20] **Bermejo-Alonso J, Hernández C, Sanz R.** Model-based engineering of autonomous systems using ontologies and metamodels. 2016 *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*. IEEE, 2016. P.1-8.
- [21] **Hernandez Corbato C, Milosevic Z, Olivares C, Rodriguez G, Rossi C.** Meta-control and Self-Awareness for the UX-1 Autonomous Underwater Robot. *Iberian Robotics conference*. Springer, Cham, 2019. P.404-415.
- [22] **Diab M, Pomarlan M, Beßler D, Akbari A, Rosell J, Bateman J, Beetz M.** An ontology for failure interpretation in automated planning and execution. *Iberian Robotics conference*. Springer, Cham, 2019. P.381-390.
- [23] **Gribova V, Kleshchev A, Moskalenko P, Timchenko V, Fedorisidiev L, Shalfeeva E.** The IACPaaS cloud platform: Features and perspectives. *Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC)*. IEEE, 2017. P.80-84.
- [24] **Zavalishin EP.** Logic [In Russian]. Tula: TulSU. 2017.

## About the authors

**Alexander Alekseevich Timoshenko** (b. 1998). Graduated from the Far Eastern Federal University in 2020. Master student of the FEFU in the direction of Mechatronics and Robotics. Junior researcher of the Laboratory of Intelligent Information Systems for Marine Robots of the IMTP of the FEB RAS. ORCID: 0000-0003-1356-9602; SPIN code (RSCI): 3728-8730; Author ID (Scopus): 57381191200; Researcher ID (WoS): AAD-2314-2022. *timoshenko.aal@mail.ru*✉.

**Alexander Valerievich Zuev** (b. 1985). Graduated from the Far Eastern State Technical University in 2007, Ph.D. (2010). Deputy Director for Scientific Work of the Institute of Marine Technology Problems of the FEB RAS and Associate Professor of the Department of Automation and Robotics of the Far Eastern Federal University. The list of scientific papers includes more than 140 works. ORCID: 0000-0002-0934-6222; SPIN code (RSCI): 3691-4666; Author ID (Scopus): 24924111800; Researcher ID (WoS): E-4458-2014. *zuev@marine.febras.ru*.

**Eduard Shamilevich Mursalimov** (b. 1987). Graduated from the Far Eastern State University in 2009, Ph.D. (2017). Senior Researcher at the Laboratory of Intelligent Information Systems for Marine Robots of the Institute of Marine Technology Problems of the FEB RAS and Senior Lecturer at the Department of Automation and Robotics of the Far Eastern Federal University. The list of scientific papers includes more than 50 works. ORCID: 0000-0002-0966-5573; SPIN code (RSCI): 1103-5147; Author ID (Scopus): 41961508500; Researcher ID (WoS): E-4525-2014. *eduard-mursalimov@yandex.ru*.

**Gribova Valeria Viktorovna** (b. 1965). Graduated from the Leningrad Order of Lenin Polytechnic Institute named after M.I. Kalinin in 1989, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. Deputy Director for Scientific Work of the Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS. The list of scientific papers includes more than 300 works. ORCID: 0000-0001-9393-351X; SPIN code (RSCI): 7481-5878; Author ID (Scopus): 7801667631; Researcher ID (WoS): Q-4250-2016. *gribova@iacp.dvo.ru*.

**Inzartsev Alexander Vyacheslavovich** (b. 1960). Graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology in 1983, Doctor of Technical Sciences (since 2012). Chief Researcher of the Laboratory of Control Systems of the Institute of Problems of Marine Technologies of the FEB RAS. The list of scientific papers includes more than 200 works. ORCID: 0000-0002-1842-9951; SPIN-code (RSCI): 5254-6980; Author ID (Scopus): 16039196400; Researcher ID (WoS): J-1494-2018. *inzar@marine.febras.ru*.

---

Received July 26, 2022. Revised August 24, 2022. Accepted September 5, 2022.

---



## База знаний о состоянии здоровья обучающихся и клиентское приложение для взаимодействия с пользователем

© 2022, С.С. Сосинская✉, И.Д. Сивушков, Д.А. Дубинин, А.С. Дорофеев

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ), Иркутск, Россия

### Аннотация

Мониторинг может быть полезным при контроле состояния физического здоровья студента и проводится с целью получения информации, необходимой для принятия управленческих решений по укреплению здоровья обучающихся, занимающихся физической культурой и спортом. В статье описан процесс обработки данных о состоянии физического здоровья обучающихся для использования в автоматизированной экспертной системе на основе онтологии «Здоровье студента», созданной в редакторе *Fluent Editor*. Описаны разработанные онтология и клиентское приложение для интерактивного взаимодействия с пользователем. Цель работы - учёт данных о физическом развитии и подготовленности обучающегося, включая организацию автоматизированной подготовки выходных документов. Для написания клиентского приложения использован язык *Python* и его библиотеки для создания приложения и обеспечения взаимодействия с онтологией. Взаимодействие созданной онтологии с клиентским приложением представляет новизну применяемого подхода.

**Ключевые слова:** база знаний, онтология, редактор *Fluent Editor*, интерфейс, клиентское приложение.

**Цитирование:** Сосинская С.С., Сивушков И.Д., Дубинин Д.А., Дорофеев А.С. База знаний о состоянии здоровья обучающихся и клиентское приложение для взаимодействия с пользователем // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.325-335. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-325-335.

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

### Введение

По определению экспертов Всемирной организации здравоохранения, «...здоровье – это состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [1]. Более развёрнутым является определение, данное в [2]: «Здоровье индивида – это процесс сохранения и развития психических, физиологических, биологических особенностей человека, его оптимальной трудовой способности, социальной активности при максимальной продолжительности активной жизни». Физическое здоровье – это состояние организма, при котором показатели основных физиологических систем лежат в пределах физиологической нормы и адекватно изменяются при взаимодействии человека с внешней средой. В данной статье используется физическое здоровье обучающегося (далее здоровье), которое рассматривается как состояние нормального функционирования всех органов и систем человеческого организма. Физическая подготовленность есть результат физической подготовки к определённому роду деятельности, который характеризуется уровнем развития и владением основным для данной деятельности качества (выносливости, силы, ловкости, гибкости, быстроты).

Наблюдение за состоянием здоровья людей, занимающихся физической культурой и спортом, проводится путём систематических обследований, которые состоят из первичных

до начала занятий физическими упражнениями, повторных - для контроля состояния здоровья и дополнительных обследований перед спортивными соревнованиями, после перенесенных заболеваний или травм, длительных перерывов в занятиях физическими упражнениями. Цель обследований – изучение состояния здоровья для решения вопроса о допуске к занятиям физической культурой, спортом или к участию в соревнованиях. Повторные медицинские обследования позволяют выявлять эффективность воздействия физических упражнений на здоровье и физическое развитие занимающихся этими видами деятельности и вносить соответствующие изменения в занятия.

На основе данных мониторинга физического развития и подготовленности обучающихся ИРНИТУ, накапливаемых в виде *Excel*-таблицы, разработана онтология «Здоровье студента» для хранения экземпляров классов, определённых в онтологии, их изменения и выдачи необходимых выходных документов. Разработано клиентское приложение, рассчитанное на пользователя-непрофессионала, для ввода данных об обучающихся, состоянии их физического здоровья и подготовленности, загрузки данных в онтологию.

## 1 Показатели физического развития и физической подготовленности обучающихся

Занятия физической культурой или спортом являются эффективным способом реализации физиологических потребностей организма человека, потребности в движении [3].

Одной из основных задач высшего образования является сохранение и укрепление здоровья обучающихся. Для решения данной задачи высшие учебные заведения создают благоприятные условия для всестороннего физического развития студентов. В то же время для многих студентов характерно пассивное отношение к занятиям физической культурой или спортом, хотя их значимость и ценность признаются большинством из них.

Необходимо осуществлять мониторинг физического развития и физической подготовленности, которые определяются следующими показателями.

Показатели физического развития:

- рост, см,
- вес, кг,
- окружность грудной клетки, см,
- жизненная ёмкость легких, мл,
- артериальное давление, мм/рт/ст: систолическое, диастолическое,
- частота сердечных сокращений (ЧСС, раз в 10 сек): до нагрузки, после нагрузки, время восстановления,
- Динамометрия, кг: левой руки, правой руки,
- челночный бег 10 X 5 (сек).

Показатели физической подготовленности:

- проба Штанге (задержка дыхания на вдохе), сек,
- проба Генче (задержка дыхания на выдохе), сек,
- ортостатическая проба: ЧСС лежа, ЧСС стоя, разница в ЧСС
- клиностатическая проба: ЧСС стоя, ЧСС лежа, разница в ЧСС,
- бег 100, 1000, 3000 метров, сек,
- вис/подтягивание, сек,
- подъем туловища за 30 сек, количество раз,
- наклон вперед, см,
- прыжок в длину с места, см,
- пресс в висе за 1 мин, количество раз,
- отжимания за 1 мин, количество раз.

Вести наблюдение и проводить измерения физических показателей здоровья следует регулярно, а полученные данные необходимо рассматривать в динамике. Научно-исследовательская лаборатория мониторинга физического здоровья ИРНИТУ проводит мо-

нитинг физического здоровья обучающихся, ведёт разработку инновационных методов реабилитации здоровья обучающихся, а также занимается совершенствованием учебно-тренировочного процесса подготовки спортсменов [4].

## 2 Разработка онтологии в редакторе *Fluent Editor*

Для решения названных задач применяется онтологический подход к формированию базы знаний, который является гибким и удобным для моделирования. Онтология рассматриваемой предметной области (ПрО) - её формализованное представление, которое включает словарь терминов ПрО и множество логических связей (типа «элемент-класс», «часть-целое»), которые описывают, как эти термины соотносятся между собой [5-9].

Основными элементами любой онтологии являются:

- классы, описывающие понятия ПрО;
- атрибуты, описывающие свойства классов и их экземпляров;
- экземпляры (объекты), содержащие конкретные значения атрибутов;
- отношения – вид атрибута, определяющий зависимости между классами.

*Fluent Editor* [10-12] – многофункциональное и интуитивно-понятное приложение, которое позволяет редактировать онтологии, визуализировать связи между понятиями и их экземплярами и выполнять запросы к базе знаний на основе логического вывода. В нём используется язык представления знаний, что позволяет создать точные формализованные описания различных ПрО. Естественно-языковое описание является главным отличием *Fluent Editor* от других онтологических редакторов, что позволяет освоить создание онтологий широкой группе пользователей.

На основе анализа обрабатываемых данных можно выделить следующие классы онтологии «Здоровье студента»: институт, группа, курс, преподаватель, студент, показатели студентов, описанные в разделе 1.

Выходные документы: выборка данных по определённому показателю для заданного курса, группы, преподавателя, студента, института и т.п. Подобные документы позволяют в динамике увидеть процесс изменения показателей обучающихся, группы в целом и т.п., например, за семестр.

Для описания класса используется конструкция вида *Every class is a thing*. Класс находится на вершине дерева иерархии. Имена классов начинаются с малой латинской буквы.

Для описания экземпляров класса используется конструкция вида *Classa is a class*.

В данном предложении «*Classa*» является экземпляром класса «*class*». Имена экземпляров начинаются с заглавной латинской буквы.

Для описания атрибутов используется конструкция вида

*Every classa has-name nothing-but (some string value).*

В данном предложении атрибутом «*classa*» является «*has-name*», данный атрибут имеет строковый тип. Кроме названий могут быть другие атрибуты.

Для описания отношений между классами используется конструкция вида

*Every class has a subclass.*

Имена классов, объектов, атрибутов и отношений представлены в таблице 1.

Далее приведены фрагменты онтологии в редакторе *Fluent Editor*.

Предложения, описывающие классы онтологии.

*Every instructor is a thing.*

*Every institute is a thing.*

*Every group is an institute.*

*Every student is a group.*

*Every indicators is a student.*

Таблица 1 – Имена классов, объектов, атрибутов и отношений для Про «Здоровье студентов»

Класс	Объекты	Атрибуты	Отношения
<i>instructor</i>	<i>Instructora</i> , <i>Instructorb</i> , ...	<i>has-fio</i> , <i>has-phone-number</i> , <i>has-email</i> , <i>has-position</i>	<i>teaches-to</i> , <i>has</i> , <i>is a university</i>
<i>institute</i>	<i>Insta</i> , <i>Instb</i> , ...	<i>has-name</i> , <i>has-short-name</i>	<i>is a thing</i>
<i>group</i>	<i>Gone</i> , <i>Gtwo</i> , ...	<i>has-name</i> , <i>has-year</i> , <i>has-number</i>	<i>belongs-to</i>
<i>student</i>	<i>Studenta</i> , <i>Studentb</i> , ...	<i>has-fio</i> , <i>has-number-of-the-course-book</i> , <i>has-birth-date</i> , <i>has-medical-group</i>	<i>belongs-to</i> , <i>taught-by</i> , <i>has</i>
<i>indicators</i>	<i>Indka</i> , <i>Indkb</i> , ...	<i>has-semester</i> , <i>has-height</i> , <i>has-weight</i> , <i>has-lungs-vital-capacity</i> , <i>has-chest-volume</i> , <i>has-blood-pressure-systolic</i> , <i>has-blood-pressure-diastolic</i> , <i>has-h-r-before</i> , <i>has-h-r-after</i> , <i>has-recovery-time</i> , <i>has-dynamometry-left</i> , <i>has-dynamometry-right</i> , <i>has-stange-test</i> , <i>has-genche-test</i> , <i>has-orthoprobe-lying</i> , <i>has-orthoprobe-standing</i> , <i>has-orthoprobe-difference</i> , <i>has-clinoprobe-standing</i> , <i>has-clinoprobe-lying</i> , <i>has-clinoprobe-difference</i> , <i>has-shuffle-run-10-x-5-meters</i> , <i>has-run-100-meters</i> , <i>has-bench-press-in-1-minute</i> , <i>has-torso-lift-in-30-seconds</i> , <i>has-forward-bend</i> , <i>has-standing-long-jump</i> , <i>has-run-1000-meters</i> , <i>has-torso-lift-hanging</i> , <i>has-push-up</i> , <i>has-run-3000-meters</i>	<i>belongs-to</i>

Предложения для описания атрибутов.

Атрибуты института.

Every ***institute has-name*** nothing-but (some string value).

Every ***institute has-short-name*** nothing-but (some string value).

Атрибуты группы.

Every ***group has-name*** nothing-but (some string value).

Every ***group has-year*** nothing-but (some string value).

Every ***group has-number*** nothing-but (some string value).

Атрибуты преподавателя.

Every ***instructor has-fio*** nothing-but (some string value).

Every **instructor has-phone-number** nothing-but (some string value).

Every **instructor has-email** nothing-but (some string value).

Every **instructor has-position** nothing-but (some string value).

Атрибуты студента.

Every **student has-fio** nothing-but (some string value).

Every **student has-number-of-the-course-book** nothing-but (some string value).

Every **student has-birth-date** nothing-but (some string value).

Every **student has-medical-group** nothing-but (some string value).

Атрибуты показателей студента.

Every **indicators has-semester** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-height** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-weight** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-lungs-vital-capacity** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-chest-volume** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-blood-pressure-systolic** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-blood-pressure-diastolic** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-h-r-before** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-h-r-after** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-recovery-time** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-dynamometry-left** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-dynamometry-right** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-stange-test** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-genche-test** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-orthoprobe-lying** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-orthoprobe-standing** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-orthoprobe-difference** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-clinoprobe-standing** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-clinoprobe-lying** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-clinoprobe-difference** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-shuffle-run-10-x-5-meters** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-run-100-meters** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-bench-press-in-1-minute** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-torso-lift-in-30-seconds** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-forward-bend** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-standing-long-jump** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-run-1000-meters** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-torso-lift-hanging** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-push-up** nothing-but (some string value).

Every **indicators has-run-3000-meters** nothing-but (some string value).

Предложения для описания отношений.

$X$  **teaches-to**  $Y$  if-and-only-if  $Y$  **taught-by**  $X$ .

$X$  **has**  $Y$  if-and-only-if  $Y$  **belongs-to**  $X$ .

Предложения для добавления объектов и их атрибутов.

Добавление экземпляра и атрибутов института.

**Insta** is an **institute**.

**Insta has-name** equal-to 'Институт информационных технологий и анализа данных'.

**Insta has-short-name** equal-to 'ИТиАД'.

Предложения для добавления экземпляра и атрибутов преподавателя.

**Instructora** is an **instructor**.

**Instructora has-name** equal-to 'Петров Пётр Петрович'.

**Instructora has-phone-number** equal-to '666444'.

**Instructora has-email** equal-to 'petrov@mail.ru'.

**Instructora has-position** equal-to 'Профессор'.

Предложения для добавления экземпляра и атрибутов группы, а также отношений, связывающих группу с преподавателем и институтом.

**Gone** is a **group**.

*Gone has-name equal-to 'ЭВМб'.*  
*Gone has-year equal-to '18'.*  
*Gone has-number equal-to '1'.*  
*Gone belongs-to Insta.*  
*Gone taught-by Instructora.*

Предложения для добавления экземпляра и атрибутов студента, а также отношения, связывающего студента с группой.

*Studenta is a student.*  
*Studenta has-name equal-to 'Сивушков Иван Дмитриевич'.*  
*Studenta has-number-of-the-course-book equal-to '184321'.*  
*Studenta has-birth-date equal-to '27.06.2000'.*  
*Studenta has-medical-group equal-to 'Основная'.*  
*Studenta belongs-to Gone.*

Предложения для добавления экземпляра и некоторых атрибутов показателей студента, а также отношения, связывающего показатели со студентом.

*Indka is an indicators.*  
*Indka has-height equal-to '182'.*  
*Indka has-weight equal-to '67'.*  
*Indka belongs-to Studenta.*

На основе этих предложений с помощью *Fluent Editor* создана иерархия классов, объектов, атрибутов и отношений. Фрагмент дерева иерархии представлен на рисунке 1.

Граф связей, построенный на основе разработанной онтологии, представлен на рисунке 2.

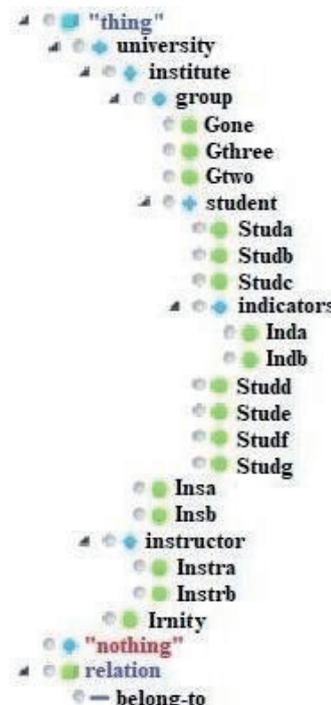


Рисунок 1 – Фрагмент дерева иерархии классов, объектов, атрибутов и отношений

### 3 Структура клиентского приложения

Для работы с созданной онтологией разработано клиентское приложение, написанное на языке *Python* [13-15] с использованием библиотек *PyQt5*, *CogniPy* и *Pandas* [16-20]. Клиентское приложение позволяет считывать информацию из файла онтологии и при изменениях дописывать новые данные. Приложение содержит модули, предназначенные для добавления и изменения экземпляров, и модуль для формирования выходных документов.

Главное окно приложения представлено на рисунке 3, а структура клиентского приложения - на рисунке 4.

При нажатии кнопки в верхней части главного окна («Институты», «Преподаватели» и т.д.) осуществляется переход на соответствующую

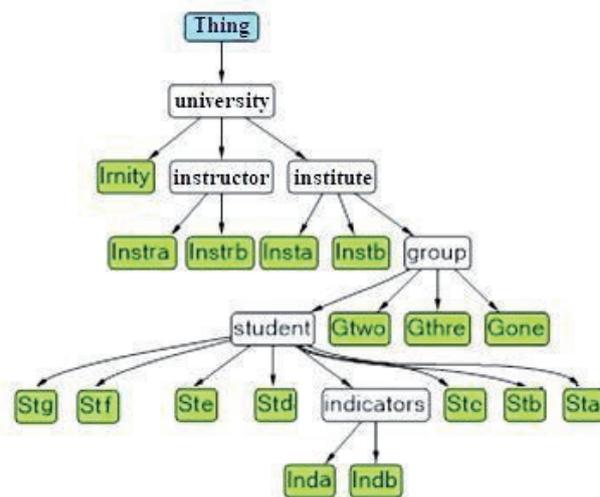


Рисунок 2 – Граф связей для разработанной онтологии

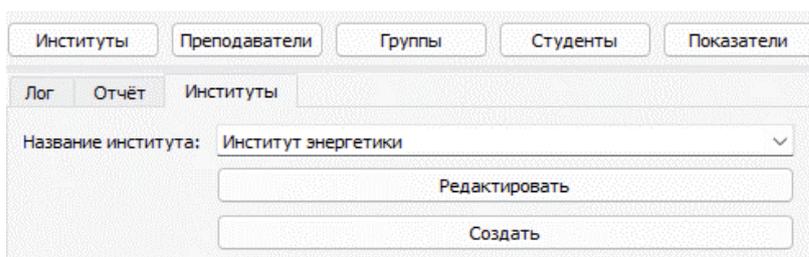


Рисунок 3 – Главное окно приложения

вкладку для работы с определённым классом и его экземплярами. Например, при выборе кнопки «Студенты» отображается окно (рисунок 5). Для добавления или редактирования экземпляра класса, его атрибутов и отношений предназначены соответствующие окна. На рисунке 6 показано окно для добавления данных о студенте.



Рисунок 4– Структура клиентского приложения

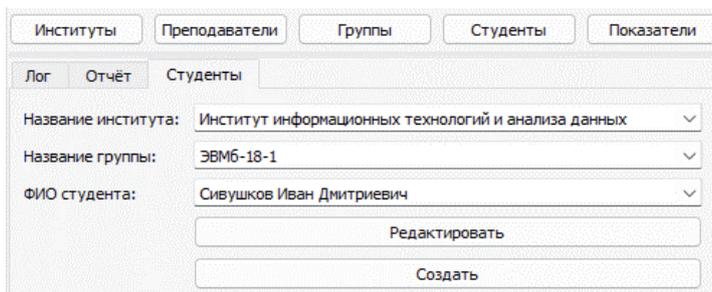


Рисунок 5 – Окно приложения для выбора экземпляра студента

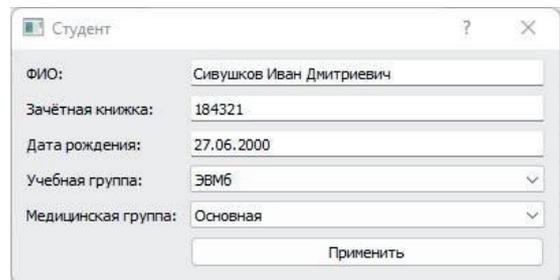


Рисунок 6 – Окно для добавления данных о студенте с его атрибутами и отношениями

Для идентификации экземпляров каждого класса создаются коллекции имен, начинающихся идентификатором соответствующего класса с добавлением уникального номера.

Модуль приложения, предназначенный для подготовки выходных документов, позволяет получить выборку данных по определённому показателю для заданного курса, группы, преподавателя, института. На рисунке 7 представлена вкладка с результатами выборки по показателю «Бег 100 метров» студентов всех групп и всех курсов, обучающихся у одного преподавателя.

В этом модуле можно получить информацию о всех экземплярах каждого класса (институты, преподаватели, группы, студенты).

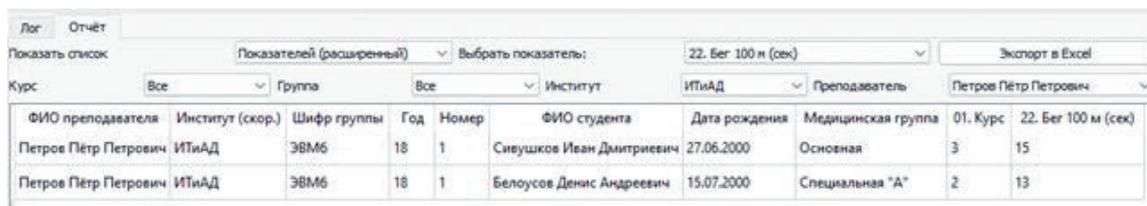
Для выбора информации из онтологии используется язык запросов к данным *SPARQL*.

В клиентском приложении определена функция, отправляющая *SPARQL* запрос и возвращающая названия экземпляров определённого класса:

```

def default_query_with_argument(self, argument):
    df = self.onto.sparql_query(
        'SELECT ?entity WHERE'
        '{
        ?entity rdf:type :'+ argument + ' FILTER NOT EXISTS'
        '{
        ?entity rdf:type ?c . ?c rdfs:subClassOf+ :'+ argument + ' . FILTER (?c != :'+ argument + ' )'
        }'
        }')
    return df

```



ФИО преподавателя	Институт (скор.)	Шифр группы	Год	Номер	ФИО студента	Дата рождения	Медицинская группа	01. Курс	22. Бер 100 м (сек)
Петров Пётр Петрович	ИТиАД	ЭВМ6	18	1	Сивушков Иван Дмитриевич	27.06.2000	Основная	3	15
Петров Пётр Петрович	ИТиАД	ЭВМ6	18	1	Белоусов Денис Андреевич	15.07.2000	Специальная "А"	2	13

Рисунок 7 – Пример выборки данных

## Заключение

В работе применён онтологический подход к формированию базы знаний, который является гибким и удобным для моделирования. Он позволяет работать с созданной онтологией «Здоровье студента» пользователям, которые не владеют информационными технологиями. Созданное приложение позволяет легко выполнять различные запросы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Сайт Всемирной организации здравоохранения. <https://www.who.int/ru/about/governance/constitution/>.
- [2] **Казначеев В.П.** Очерки теории и практики экологии человека. М.: Наука. 1983. 260 с.
- [3] **Дюкина Л.А., Игнатьев С.В.** Показатели физического развития и физической подготовки студентов. Сборник научных трудов. Проблемы современного педагогического образования. Вып. 63. Ч.2. Ялта: РИО ГПА, 2019. С.157-160.
- [4] Научно-исследовательская лаборатория мониторинга физического здоровья ИРННТУ. [https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/baza/nil/nil\\_monitoringa\\_zdorovya/default/](https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/baza/nil/nil_monitoringa_zdorovya/default/).
- [5] **Gruber T.** Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Workshop on Formal Ontology. Padova, Italy, 1993. P.907-928.
- [6] **Гориков С.** Введение в онтологическое моделирование. ТриниДата, 2016. 165 с. <https://trinidata.ru/files/SemanticIntro.pdf>.
- [7] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. Int. J. of Human Computer Studies. 1995. Vol. 43(5/6). P.625-640.
- [8] **Lammari N., du Mouza C., Metais E.** POEM: an Ontology Manager based on Existence Constraints. In: S.S. Bhowmick, J. Küng, R. Wagner (eds.): Database and Expert Systems Applications. Proc. 19th Int. Conf. DEXA 2008 (Turin, Italy, September 1-5, 2008). Lecture Notes in Computer Science, vol. 5181. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. P.81-88.
- [9] **Sertkaya B.** A survey on how description logic ontologies benefit from FCA. In: Proc. of the 7th Int. Conf. on Concept Lattices and Their Applications (Sevilla, Spain, October 19-21, 2010). University of Sevilla, 2010. P.2-21.
- [10] Описание редактора Fluent Editor. <https://www.cognitum.eu/download/download.aspx?id=1001>.
- [11] **Хряцёва О.А., Нестеренко М.В.** Построение онтологической модели рецептов блюд с использованием редактора Fluent Editor / OPEN INNOVATION: сборник статей IX Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч.1. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С.117-125.
- [12] **Borgest N.M, Orlova A.A.** Ontological modeling of the preparation of flight manuals. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017. Vol.93, No 1. P.105-107.

- [13] Руководство по языку программирования Python. <https://metanit.com/python/tutorial/>
  - [14] Язык программирования Python – обучающие материалы. <https://tproger.ru/tag/python/>
  - [15] Python 3 Documentation. <https://docs.python.org/3/>
  - [16] Qt 5.15 Documentation. <https://doc.qt.io/qt-5.15/>
  - [17] PyQt5 Reference Guide. <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/>
  - [18] Pandas Documentation. <https://pandas.pydata.org/docs/>
  - [19] CogniPy for Pandas GitHub. <https://github.com/cognitum-octopus/cognipy>
  - [20] CogniPy for Pandas Documentation. <https://cognipy.org/index.html>
- 

## Сведения об авторах



**Сосинская Софья Соломоновна**, окончила Иркутский государственный университет по специальности «Математик-вычислитель» (1963). К.т.н. (1977), доцент института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. Область научных интересов – искусственный интеллект, трансляторы, программирование. Имеет свыше 100 публикаций. Под её руководством успешно защитили кандидатские диссертации 4 аспиранта. [sosinskaya@mail.ru](mailto:sosinskaya@mail.ru). ✉.



**Сивушков Иван Дмитриевич**, окончил бакалавриат ИРНИТУ по направлению «Информатика и вычислительная техника» (2022). Прошёл подготовку в Институте лингвистики и межкультурной коммуникации ИРНИТУ по программе «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации». [sivushkovivan@gmail.com](mailto:sivushkovivan@gmail.com).



**Дубинин Дмитрий Андреевич**, окончил ИРНИТУ по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» (2011). Область научных интересов – искусственный интеллект, автоматизация, экспертные системы. [dhdaan.job@gmail.com](mailto:dhdaan.job@gmail.com).



**Дорофеев Андрей Сергеевич**, окончил Иркутский государственный технический университет (2001), к.т.н. (2008), доцент. Доцент института информационных технологий и анализа данных ИРНИТУ. Автор более 50 публикаций. ORCID: 0000-0002-8498-3301; Author ID (РИНЦ): 189500; Author ID (Scopus): 56349273700. Author ID (Web Of Science): AAM-6919-2021. [dorobaik@istu.edu](mailto:dorobaik@istu.edu).

---

Поступила в редакцию 26.07.2022, после рецензирования 26.08.2022. Принята к публикации 04.09.2022.

---



## Knowledge base on the health status of students and a client application for user interaction

© 2022, S.S. Sosinskaya✉, I.D. Sivushkov, D.A. Dubinin, A.S. Dorofeev

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

### Abstract

Monitoring can be useful in controlling the state of a student's physical health and is carried out in order to obtain the information necessary to make management decisions to improve the health of students involved in physical culture and sports. The article describes the data processing process on the state of physical health of students, used in an automated expert system based on the "Student's Health" ontology and created in Fluent Editor. The developed ontology and client application for interaction with the user are described. The purpose of the work is to take into account data on the physical development and preparedness of the student, including the organization automated preparation of output documents. The Python language and its libraries were used to create an application and ensure interaction with the ontology. The interaction of the created ontology with the client application is a novelty of the applied approach.

**Key words:** knowledge base, ontology, Fluent editor, interface, graphics application.

**For citation:** Sosinskaya SS, Savushkov ID, Dubinin DA, Dorofeev AS. Knowledge base on the health status of students and a client application for user interaction [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(1): 325-335. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-325-335.

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

### List of figures and table

Figure 1 - Fragment of the hierarchy tree of classes, objects, attributes and relations

Figure 2 - Relations graph for the developed ontology

Figure 3 - Main application window

Figure 4 - Structure of the client application

Figure 5 - Application window for selecting a student

Figure 6 - Window for adding a student with its attributes and relations

Figure 7 - Example of data sampling

Table 1 - Names of Classes, Objects, Attributes and Relationships for the Subject area Student Health

### References

- [1] World Health Organization website. <https://www.who.int/ru/about/governance/constitution/>.
- [2] **Kaznacheev VP.** Essays on the theory and practice of human ecology [In Russian]. M.: Science. 1983. 260 p.
- [3] **Dyukina LA, Ignatiev SV.** Indicators of physical development and physical training of students. Problems of modern pedagogical education [In Russian]. Collection of scientific papers. Issue. 63. Part 2. Yalta: RIO GPA, 2019. P.157-160.
- [4] Official website of IRNITU. Research Laboratory of Physical Health Monitoring. [https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/baza/nil/nil\\_monitoringa\\_zdorovya/default/](https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/baza/nil/nil_monitoringa_zdorovya/default/).
- [5] **Gruber T.** Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Workshop on Formal Ontology. Padova, Italy, 1993. P.907-928.
- [6] **Gorshkov S.** Introduction to ontological modeling [In Russian]. TriniData, 2016. 165 p. <https://trinidata.ru/files/SemanticIntro.pdf>.
- [7] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *Int. J. of Human Computer Studies*. 1995; 43(5/6): 625-640.
- [8] **Lammari N, du Mouza C, Metais E.** POEM: an Ontology Manager based on Existence Constraints. In: S.S. Bhowmick, J. Küng, R. Wagner (eds.): Database and Expert Systems Applications. Proc. 19th Int. Conf. DEXA

2008 (Turin, Italy, September 1-5, 2008). Lecture Notes in Computer Science, vol. 5181. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. P.81-88.

- [9] **Sertkaya B.** A survey on how description logic ontologies benefit from FCA. In: Proc. of the 7th Int. Conf. on Concept Lattices and Their Applications (Sevilla, Spain, October 19-21). University of Sevilla, 2010. P.2-21.
  - [10] Description of Fluent editor. <https://www.cognitum.eu/download/download.aspx?id=1001>.
  - [11] **Khryashcheva O.A., Nesterenko M.V.** Building an ontological model of food recipes using the Fluent Editor / OPEN INNOVATION: a collection of articles from the IX International Scientific and Practical Conference. At 2 p.m. Part 1. Penza: Science and Education, 2019. P.117-125.
  - [12] **Borgest NM, Orlova AA.** Ontological modeling of the preparation of flight manuals. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017; 93(1): 105-107.
  - [13] Guide to the Python programming language. <https://metanit.com/python/tutorial/>
  - [14] The Python Programming Language - Tutorials. <https://tproger.ru/tag/python/>
  - [15] Python 3 Documentation. <https://docs.python.org/3/>
  - [16] Qt 5.15 Documentation. <https://doc.qt.io/qt-5.15/>
  - [17] PyQt5 Reference Guide. <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/>
  - [18] Pandas Documentation. <https://pandas.pydata.org/docs/>
  - [19] CogniPy for Pandas GitHub. <https://github.com/cognitum-octopus/cognipy>
  - [20] CogniPy for Pandas Documentation. <https://cognipy.org/index.html>.
- 

## About the authors

**Sofya Solomonovna Sosinskaya**, graduated from Irkutsk State University with a degree in Mathematician-Computer (1967), PhD (1977), Associate Professor at the Institute of Information Technologies and Data Analysis. Research interests are artificial intelligence, translators, and programming. She has over 100 publications. Four PhD students successfully defended their dissertations under her guidance. [sosinskaya@mail.ru](mailto:sosinskaya@mail.ru). ✉

**Ivan Dmitrievich Sivushkov**, graduated from the Irkutsk National Research Technical University with bachelor's degree in "Informatics and Computer Engineering" (2022). Passed professional training at the Institute of Linguistics and Intercultural Communication of INRTU under the program "Translator in the field of professional communication". [sivushkovivan@gmail.com](mailto:sivushkovivan@gmail.com).

**Dmitry Andreevich Dubinin**, graduated from the Irkutsk State Technical University with a degree in Computers, Complexes, Systems and Networks. Research interests are artificial intelligence, automation, and expert systems. [dhdaan.job@gmail.com](mailto:dhdaan.job@gmail.com).

**Andrey Sergeevich Dorofeev**, graduated from the Irkutsk State Technical University (2001), PhD (2007), Associate Professor. He is currently an Associate Professor at the Institute of Information Technology and Data Analysis. Author of more than 50 publications. ORCID: 0000-0002-8498-3301; Author ID (RSCI): 189500; Author ID (Scopus): 56349273700. Author ID (Web Of Science): AAM-6919-2021. [dorbaik@istu.edu](mailto:dorbaik@istu.edu).

---

*Received July 26, 2022. Revised August 26, 2022. Accepted September 04, 2022.*

---

## ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352



### Подход к автоматизированному наполнению графов знаний сущностями на основе анализа таблиц

© 2022, Н.О. Дородных✉, А.Ю. Юрин

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

#### Аннотация

Использование технологий *Semantic Web*, в том числе онтологий и графов знаний, является широко распространённой практикой при разработке современных интеллектуальных систем информационного поиска, рекомендательных и вопросно-ответных систем. Процесс разработки онтологий и графов знаний включает использование различных источников информации (например, баз данных, документов, концептуальных моделей). Таблицы являются одним из наиболее доступных и широко распространённых способов хранения и представления информации, а также ценным источником знаний в предметной области. В данной работе предлагается автоматизировать процесс извлечения конкретных сущностей (фактов) из табличных данных для последующего наполнения целевого графа знаний. Для этого разработан новый подход, ключевой особенностью которого является семантическая интерпретация (аннотирование) отдельных элементов таблицы. Приведено описание его основных этапов, показано применение подхода при решении практических задач создания предметных графов знаний, в том числе в области экспертизы промышленной безопасности нефтехимического оборудования и технологических комплексов. Выполнена экспериментальная оценка качества аннотирования на тестовом наборе табличных данных. Полученные результаты показали целесообразность использования предлагаемого подхода и разработанного программного обеспечения для решения задачи извлечения фактов из табличных данных для последующего наполнения целевого графа знаний.

**Ключевые слова:** *semantic web, граф знаний, семантическая интерпретация таблиц, аннотирование таблиц, извлечение сущностей, таблица.*

**Цитирование:** Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Подход к автоматизированному наполнению графов знаний сущностями на основе анализа таблиц // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.336-352. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352.

**Благодарности:** авторы выражают признательность рецензентам и членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за ценные замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента России (проект СП-978.2022.5) и госзадания Минобрнауки России по проекту «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноформатных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения» (№ государственной регистрации: 121030500071-2).

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

#### Введение

Технологии семантической сети (*Semantic Web*) широко используются в различных предметных областях (ПрО) в качестве основы для структурирования и формализации зна-

ний. Основными элементами этих технологий являются онтологии и графы знаний (ГЗ). ГЗ – это граф, предназначенный для накопления и передачи знаний о реальном мире, узлы которого представляют сущности, а рёбра – отношения между этими сущностями [1]. ГЗ позволяют объединять большие объёмы информации, полученные из различных источников, и обеспечивать её представление с помощью стандартизированных средств моделирования знаний. В настоящее время существует множество крупных ГЗ (например, *Google Knowledge Graph*, *Probase*, *DBpedia*, *Wikidata*, *YAGO*), которые могут хранить различные факты о реальном мире. Современные поисковые системы, такие как *Google* и *Bing*, используют ГЗ для улучшения результатов поиска. Кроме того, существуют корпоративные ГЗ, которые являются внутренними для компании и применяются для различных коммерческих целей, в частности, для торговли (например, *Amazon*, *Uber*, *eBay*, *Airbnb*), социальных сетей (например, *VK*, *LinkedIn*) и финансов (например, *Bloomberg*, *Wells Fargo*, *Accenture*, *Capital One*), в других ПрО (промышленность, оценка рисков, реклама, бизнес-аналитика и др.),

В ГЗ сущности, их атрибуты и отношения между ними типизируются на основе онтологии, представляющую собой модель ПрО [2]. Поскольку, в отличие от онтологий, конкретные сущности (экземпляры) являются центральными элементами ГЗ, наполнение ими ГЗ является важной частью процесса разработки. Такое наполнение может осуществляться с использованием различных источников информации помимо экспертов ПрО (например, баз данных, документов, концептуальных моделей). Таблицы являются одним из доступных, простых и понятных способов представления, хранения и обмена данными, а также ценным источником знаний о ПрО. В сети фиксируются миллионы таблиц, которые по некоторым оценкам содержат миллиарды ценных фактов [3], которые могут быть извлечены и использованы для построения и расширения различных ГЗ. Однако, как правило, таблицы не сопровождаются явной семантикой, необходимой для машинной интерпретации содержания. Накапливаемая в них информация часто является неструктурированной и не стандартизированной. Указанные факторы затрудняет использование таких табличных данных на практике.

В данной работе предлагается новый подход к автоматическому извлечению конкретных сущностей (фактов) из таблиц и наполнению ими целевого ГЗ. Особенностью подхода является возможность поддержки автоматизированного восстановления семантики таблиц на основе модели ПрО. Это позволяет задавать явную семантическую аннотацию для отдельных элементов таблицы (столбцов и связей между ними) и извлекать конкретные сущности из их ячеек. Предлагаемый подход реализован в виде прототипа веб-ориентированного средства, который совместно с плагином *PKBD.Onto* [4] был использован при разработке предметного ГЗ (ПрГЗ) для системы поддержки принятия решений (СППР) в задачах *экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ)*, в частности, при диагностике и оценке технического состояния нефтехимического оборудования и технологических комплексов. Данный подход и средство применялись в научно-исследовательских работах для платформы *TALISMAN* Института системного программирования имени В.П. Иванникова Российской академии наук (ИСП РАН). В рамках данного проекта была получена экспериментальная количественная оценка предлагаемого подхода.

## 1 Состояние вопроса

Таблицы могут иметь различные компоновки, стили и содержание. Их используют для различных приложений, в том числе для:

- *построения ГЗ* – процесса заполнения ГЗ информацией, извлечённой из документов, таблиц и других информационных источников [5];

- *пополнения ГЗ* – обнаружения новых фактов о сущностях из большого корпуса текстов или таблиц и пополнения ГЗ этими фактами [6];
- *расширения ГЗ* – создания новых экземпляров отношений с использованием табличных данных и обновления ГЗ извлечённой информацией [7].

Существуют специальные подходы, предметно-ориентированные языки и программные инструменты (например, *RDF123*, *csv2rdf4lod*, *Datalift*, *Spread2RDF*, *Sheet2RDF*, *XSPARQL*, *SPARQL-Generate*), предназначенные для прямого преобразования отдельных элементов таблицы в структуру целевого ГЗ или онтологии в формате *RDF* и *OWL*. В публикациях содержатся частные решения для определённых типов макетов таблиц и извлечения табличных данных без анализа и трактовки их смыслового содержания. Активно развиваются методологические основы *семантической интерпретации таблиц* и извлечения знаний из семантически аннотированных табличных данных. В последние годы появилось большое количество работ, предлагающих новые решения для связывания табличных данных с внешними понятиями, содержащимися в ГЗ. Большая часть из них сосредоточена на анализе содержимого таблиц на естественном языке и их контекста.

Все существующие подходы к семантической интерпретации (аннотированию) табличных данных можно разделить на группы:

- *аннотирование узкоспециализированных табличных данных*, учитывающее их стили оформления и структуру для определённой ПрО (например, различные измерительные данные в таблицах по естественным наукам) [8];
- *полуавтоматические подходы*, ориентированные на ручное задание соответствий между элементами исходных таблиц и целевого ГЗ [9];
- *автоматические подходы* с дополнительным участием пользователя в процессе аннотирования, которые направлены на сопоставление ячеек, столбцов и связей между столбцами с сущностями, классами и свойствами из целевого ГЗ. Эта группа включает в себя ведущие программные инструменты: *T2K Match* [10], *TableMiner+* [11], *FactBase lookup* [12], *Meimei* [13], *ColNet* [14], *Sherlock* [15], *TAKCO* [16], *MantisTable* [17], *TURL* [18]; *JHSTabEL* [19], *DAGOBAN* [20], *MTab* [21];
- *комбинированные подходы*, объединяющие автоматический и полуавтоматический режим аннотирования таблиц [22].

Количественные сравнения, проведённые в 2021 году в рамках конкурса *SemTab*<sup>1</sup> на международной научной конференции (*International Semantic Web Conference – ISWC'20*), показали, что качество семантической интерпретации таблиц существующими решениями остаётся недостаточным для работы с реальными данными. Как правило, существующие инструменты решают ограниченный круг задач. Например, *JHSTabEL* [19] ориентирован только на семантическое аннотирование ячеек таблицы, а *ColNet* [14] предназначен для семантического аннотирования столбцов. Следует отметить, что существующие решения не ориентированы на непрограммирующих пользователей. Они не имеют графического пользовательского интерфейса и требуют дополнительной настройки. Более того, многие из представленных инструментов не находятся в свободном доступе.

Названные особенности и ограничения существующих исследований определяют актуальность задачи создания новых методов и программных средств, обеспечивающих построение ГЗ на основе табличных данных, включая поддержку возможности пополнения и расширения уже существующих ГЗ новыми фактами.

<sup>1</sup> <https://www.cs.ox.ac.uk/isg/challenges/sem-tab/>

## 2 Предлагаемый подход

### 2.1 Постановка задачи

В данном разделе приводятся основные предположения и некоторые формальные определения, связанные с задачей семантической интерпретации таблиц и извлечения сущностей из семантически аннотированных табличных данных. В статье приняты следующие предположения и термины.

**Предположение 1.** *Исходная (входная) таблица* – это реляционная таблица в третьей нормальной форме (3НФ), представляющая набор однотипных сущностей, где:

- *категориальный столбец* содержит названия (упоминания) некоторых именованных сущностей;
- *литеральный столбец* содержит литеральные значения (например, даты, числа);
- *сущностный (тематический) столбец* – это категориальный столбец, оцениваемый как потенциальный ключ и определяющий смысловое содержание исходной таблицы;
- остальные (*не сущностные*) столбцы представляют свойства сущностей, в том числе их отношения с другими сущностями.

Таким образом, каждая строка в исходной таблице содержит описание некоторого факта.

**Предположение 2.** Первая строка исходной таблицы является *заголовком*, содержащим имена столбцов.

**Предположение 3.** Значения ячеек столбца в исходной таблице имеют одинаковые синтаксические (*типы данных*) и семантические типы (*сущности*).

**Предположение 4.** Исходная таблица может быть представлена в формате *CSV* или *JSON*.

**Предположение 5.** Исходные таблицы обрабатываются независимо друг от друга.

Основной особенностью предлагаемого подхода является поддержка семантической интерпретации (аннотирования) отдельных элементов исходной таблицы.

*Семантическая интерпретация (аннотирование) таблицы* – процесс распознавания и связывания табличного содержания с внешними понятиями из ГЗ, включающий три основные задачи:

- 1) *аннотирование ячеек* – сопоставление между значениями ячеек таблицы и сущностями (конкретными объектами) из ГЗ;
- 2) *аннотирование столбцов* – сопоставление между столбцами или заголовками (если они доступны) и понятиями (классами или типами данных) из ГЗ;
- 3) *аннотирование отношений между столбцами* – поиск отношений, используя свойства, между основным сущностным столбцом и всеми остальными столбцами.

Целью данной работы является семантическое аннотирование столбцов и отношений между ними с последующим извлечением конкретных сущностей из ячеек таблицы. Данное аннотирование может осуществляться либо с использованием целевого ГЗ общего назначения (например, *DBpedia*, *Wikidata*, *YAGO*), либо с использованием целевой модели Про, представленной в виде онтологической схемы (онтологии на терминологическом уровне – *TBox*).

### 2.2 Основные этапы подхода

Предлагаемый подход может быть представлен в виде последовательности этапов (см. рисунок 1).

**Этап 1.** Преобразование таблиц однотипных сущностей из формата *CSV* в *JSON* представление с использованием формата «ключ-значение». При этом осуществляется очистка

значений ячеек: восстанавливаются некорректные символы *Unicode* и теги *HTML*, удаляются множественные пробелы и различные «мусорные» символы.

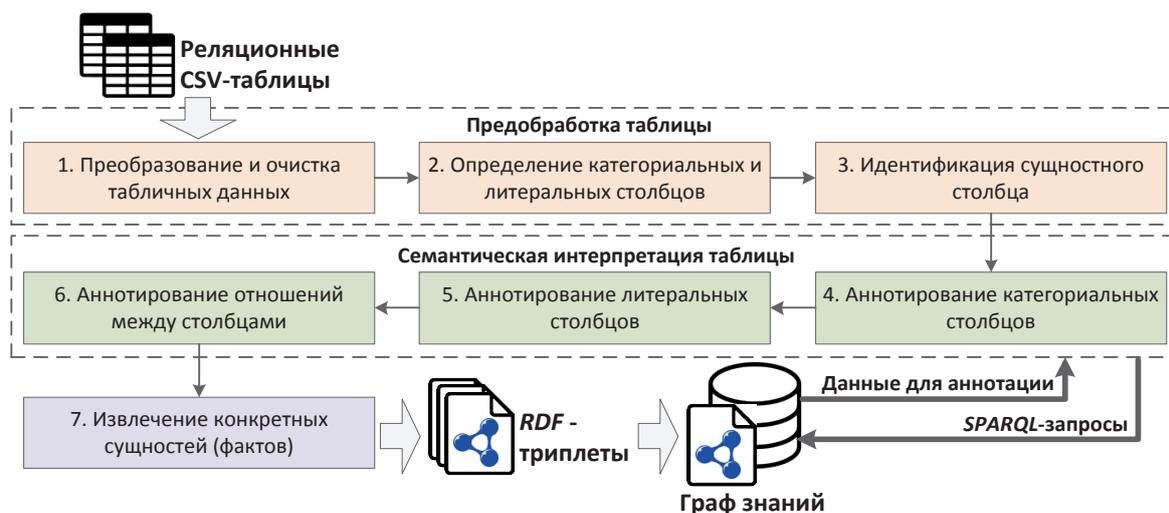


Рисунок 1 – Основные этапы предлагаемого подхода

**Этап 2.** Определение категориальных и литеральных столбцов в исходной таблице. Для этой цели используется библиотека для обработки естественного языка – *Stanford CoreNLP* и, в частности, *Java*-реализация распознавателя – *Stanford Named-Entity Recognizer (Stanford NER)*<sup>2</sup>, который позволяет распознавать в тексте вхождения именованных сущностей (персон, компаний, местоположений и др.). *Stanford NER* определяет множество классов именованных сущностей. Эти классы присваиваются каждой ячейке в исходной таблице, характеризуя данные, которая она содержит. В зависимости от присвоенного *NER*-класса ячейка может быть как категориальной (*categorical*), так и литеральной (*literal*). В таблице 1 представлены соответствия между *NER*-классами и соответствующими типами ячеек.

Дополнительно к *NER*-аннотатору используется механизм регулярных выражений для уточнения *NER*-класса – *NONE* и *CARDINAL* (см. таблицу 2).

Таким образом, тип столбца определяется исходя из общего количества категориальных и литеральных ячеек.

**Этап 3.** Идентификация сущностного (тематического) столбца среди категориальных столбцов. Для решения этой задачи применяются специальные эвристики:

- *доля пустых ячеек (fraction of empty cells – emc)* – количество пустых ячеек, отнесённое к количеству строк в столбце;
- *доля ячеек с акронимами (fraction of cells with acronyms – acr)* – количество ячеек, содержащих акронимы, отнесённое к количеству строк в столбце;
- *доля ячеек с уникальным содержимым (fraction of cells with unique content – uc)* – количество ячеек с уникальным текстовым содержимым, отнесённое к количеству строк в столбце;
- *среднее количество слов в ячейке (average number of words – aw)* – вычисляется как среднее количество слов в ячейках каждого категориального столбца, при этом лучшим кандидатом является столбец с наибольшим средним количеством слов в ячейке;
- *расстояние от первого категориального столбца (distance from the first NE-column – df)* – рассчитывается смещение на сколько столбцов текущий категориальный столбец находится от первого категориального столбца слева;

<sup>2</sup> <https://nlp.stanford.edu/software/CRF-NER.html>.

Таблица 1 – Соответствие между *NER*-классами и типами ячеек

<i>NER</i> -класс	Тип ячейки	Описание
<i>NONE</i>	<i>categorical</i>	Всё, что не смог определить <i>NER</i> -аннотатор.
<i>LOCATION</i>	<i>categorical</i>	Локации, не относящиеся к <i>GPE</i> , например горные хребты, водоёмы и т.п.
<i>GPE</i>	<i>categorical</i>	Страны, города, штаты и т.п.
<i>NORP</i>	<i>categorical</i>	Национальности, религиозные или политические группы.
<i>PERSON</i>	<i>categorical</i>	Люди, в том числе вымышленные.
<i>PRODUCT</i>	<i>categorical</i>	Транспортные средства, оружие, продукты питания и т.п. (не услуги).
<i>FACILITY</i>	<i>categorical</i>	Здания, аэропорты, шоссе, мосты и т.п.
<i>ORG</i>	<i>categorical</i>	Компании, агентства, учреждения и т.п.
<i>EVENT</i>	<i>categorical</i>	Названия ураганов, сражений, войн, спортивных событий и т.п.
<i>WORK OF ART</i>	<i>categorical</i>	Названия фильмов, книг, песен и т.п.
<i>LAW</i>	<i>categorical</i>	Именованные документы, законы и т.п.
<i>DATE</i>	<i>literal</i>	Абсолютные или относительные даты или периоды.
<i>TIME</i>	<i>literal</i>	Время (меньше суток).
<i>PERCENT</i>	<i>literal</i>	Проценты (включая символ – %).
<i>MONEY</i>	<i>literal</i>	Денежное выражение, включая единицы измерения.
<i>QUANTITY</i>	<i>literal</i>	Измерения по весу или расстоянию.
<i>ORDINAL</i>	<i>literal</i>	Порядковые номера: «первый», «второй» и т.д.
<i>CARDINAL</i>	<i>literal</i>	Цифры, не относящиеся к другим типам.

Таблица 2 – Соответствия между дополнительными *NER*-классами и типами ячеек

<i>NER</i> -класс	Тип ячейки	Описание
<i>POSITIVE INTEGER</i>	<i>literal</i>	Целое положительное число.
<i>NEGATIVE INTEGER</i>	<i>literal</i>	Целое отрицательное число.
<i>FLOAT</i>	<i>literal</i>	Число с плавающей точкой.
<i>BOOLEAN</i>	<i>literal</i>	Логическое значение: « <i>true</i> », « <i>false</i> » и т.д.
<i>MAIL</i>	<i>literal</i>	Почтовый индекс.
<i>EMAIL</i>	<i>literal</i>	Адрес электронной почты.
<i>ISSN</i>	<i>literal</i>	Номер <i>ISSN</i> .
<i>ISBN</i>	<i>literal</i>	Номер <i>ISBN</i> .
<i>IP V4</i>	<i>literal</i>	<i>IP</i> -адрес версии 4.
<i>BANK CARD</i>	<i>literal</i>	Номер банковской карты.
<i>COORDINATES</i>	<i>literal</i>	Координаты долготы и широты.
<i>PHONE</i>	<i>literal</i>	Номер мобильного телефона.
<i>COLOR</i>	<i>literal</i>	Номер цвета в 16 бит.
<i>TEMPERATURE</i>	<i>literal</i>	Температура в градусах Цельсия или Фаренгейта.
<i>URL</i>	<i>literal</i>	<i>URL</i> -адрес.
<i>EMPTY</i>	<i>literal</i>	Пустое значение.

- название предлогов в заголовке столбца (*name of prepositions in column header – hpn*) – если название заголовка является предлогом, то столбец, вероятно, не является сущностным, а, скорее всего, образует отношение с сущностным столбцом.

*uc* и *aw* являются основными показательными характеристиками сущностного столбца в исходной таблице. При этом столбец, содержащий пустые ячейки (*emc*) или акронимы (*acr*), а также столбец с заголовком предлогом (*hpn*), подвергаются штрафу, а общая оценка для столбца нормализуется по его расстоянию от самого левого категориального столбца (*df*).

Таким образом, применяя все эти эвристики, можно вычислить общую (агрегированную) оценку, определяющую итоговую вероятность того, что определённый категориальный столбец является наиболее подходящим для сущностного (тематического) столбца:

$$subcol(c_j) = \frac{w_1 \times uc(c_j) + w_2 \times aw(c_j) - w_3 \times emc(c_j) - w_4 \times acr(c_j) - w_5 \times hpn(c_j)}{\sqrt{df(c_j) + 1}},$$

где  $w_1 - w_5$  – это весовые коэффициенты, которые определяют важность отдельной эвристики. По умолчанию  $w_1 = 2$ , а все остальные коэффициенты равны 1.

**Этап 4.** Семантическое аннотирование категориальных столбцов таблицы. Данная задача решается в два последовательных подэтапа:

- 1) *поиск и формирование набора классов кандидатов* для каждого категориального столбца, включая сущностный столбец, на основе целевого ГЗ или онтологической схемы;
- 2) *выбор наиболее подходящего класса из набора кандидатов* в качестве релевантной аннотации для назначения категориальному столбцу, включая сущностный столбец.

Предполагается, что целевой ГЗ или онтологическая схема для некоторой Про, к которой принадлежит исходная таблица, сформированы заранее и предоставляют полную и корректную информацию. Поиск классов кандидатов осуществляется либо по точному совпадению значения заголовка столбца с названием класса кандидата, либо по совпадению отдельных  $N$ -грамм заголовка и нечёткому лексическому сопоставлению. Для этой цели применяется метрика *расстояния редактирования* (Левенштейна). Запросы к целевому ГЗ или онтологической схеме осуществляются с использованием стандартизированного языка запросов – SPARQL<sup>3</sup>. При этом набор классов кандидатов ранжируется по убыванию вероятности совпадения класса кандидата с заголовком столбца. Класс кандидат с наивысшей оценкой вероятности определяется релевантным по умолчанию. Однако окончательный выбор наиболее подходящего класса из данного набора осуществляется пользователем (экспертом).

**Этап 5.** Автоматическое связывание типов данных из целевого ГЗ или онтологической схемы с литеральными столбцами в исходной таблице. В качестве целевых типов данных используется стандарт консорциума W3C – XML-схема (XML Schema Datatypes)<sup>4</sup>. XML-схема имеет множество встроенных простых типов данных. Встроенные типы включают примитивные и производные типы. Примитивные типы данных не являются производными от других типов. Например, числа с плавающей запятой (*float*) – это математическое понятие, которое не является производным от других типов. Производные типы данных определяются в терминах существующих типов данных. Например, целочисленный тип данных (*integer*) является частным случаем, производным от десятичного типа (*decimal*).

Для автоматического связывания литеральных столбцов с типами данных из XML-схемы предполагается использовать информацию о ранее распознанных именованных сущностях в столбцах (см. этап 2). Каждому литеральному *NER*-классу ставится соответствие типа данных из XML-схемы (см. таблицу 3). Таким образом, наиболее подходящий тип данных определяется исходя из общего количества определённых типов данных из XML-схемы для каждой ячейки.

**Этап 6.** Семантическое аннотирование отношений между столбцами. Данная задача решается в два последовательных подэтапа:

- 1) *поиск и формирование набора свойств (предикатов) кандидатов* на основе целевого ГЗ или онтологической схемы для каждой пары столбцов: ( $S, C$ ) и ( $S, L$ ), где  $S$  – сущностный столбец,  $C$  – категориальный столбец,  $L$  – литеральный столбец;
- 2) *выбор наиболее подходящего свойства из набора кандидатов* в качестве релевантной аннотации для обозначения связи между парой столбцов.

Поиск свойств кандидатов происходит на основе определённых релевантных классов, назначенных для столбцов (см. этап 4) с использованием языка запросов SPARQL. Финальный выбор наиболее подходящего свойства из набора кандидатов осуществляется пользователем (экспертом).

<sup>3</sup> <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.

<sup>4</sup> <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>.

Таблица 3 – Соответствия между литеральными *NER*-классами и типами данных *XML*-схемы

<i>NER</i> -класс	Тип данных	Описание
<i>DATE</i>	<i>xsd:date</i>	Представляет календарную дату. Шаблон: <i>CCYY-MM-DD</i> (здесь необязательна часть, представляющая время).
<i>TIME</i>	<i>xsd:time</i>	Представляет конкретное время дня. Шаблон: <i>hh:mm:ss.sss</i> (долевая часть секунд необязательна).
<i>PERCENT</i>	<i>xsd:nonNegativeInteger</i>	Представляет целое число, большее или равное нулю. Шаблон: [0, 1, 2, ...].
<i>MONEY</i>	<i>xsd:decimal</i>	Представляет произвольное число.
<i>QUANTITY</i>	<i>xsd:nonNegativeInteger</i>	Представляет целое число, большее или равное нулю. Шаблон: [0, 1, 2, ...].
<i>ORDINAL</i>	<i>xsd:positiveInteger</i>	Представляет целое число, большее нуля. Шаблон: [1, 2, 3, ...].
<i>CARDINAL</i>	<i>xsd:decimal</i>	Представляет произвольное число.
<i>POSITIVE INTEGER</i>	<i>xsd:nonNegativeInteger</i>	Представляет целое число, большее или равное нулю. Шаблон: [0, 1, 2, ...].
<i>NEGATIVE INTEGER</i>	<i>xsd:negativeInteger</i>	Представляет целое число, меньшее нуля. Этот тип данных получен из <i>nonPositiveInteger</i> .
<i>FLOAT</i>	<i>xsd:float</i>	Представляет 32-битовое число с плавающей запятой одиночной точности.
<i>BOOLEAN</i>	<i>xsd:boolean</i>	Представляет логическое значение, которое может быть « <i>true</i> » или « <i>false</i> ».
<i>MAIL</i>	<i>xsd:decimal</i>	Представляет произвольное число.
<i>EMAIL</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>ISSN</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>ISBN</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>IP V4</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>BANK CARD</i>	<i>xsd:decimal</i>	Представляет произвольное число.
<i>COORDINATES</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>PHONE</i>	<i>xsd:decimal</i>	Представляет произвольное число.
<i>COLOR</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>TEMPERATURE</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.
<i>URL</i>	<i>xsd:anyURI</i>	Представляет <i>URI</i> как определено в <i>RFC 2396</i> . Значение <i>anyURI</i> может быть абсолютно или относительно, и может иметь необязательный идентификатор фрагмента.
<i>EMPTY</i>	<i>xsd:string</i>	Представляет символьную строку.

**Эман 7.** Извлечение конкретных сущностей (фактов) из таблицы и наполнение этими сущностями целевого ГЗ или онтологической схемы. Сущности извлекаются из каждой строки исходной таблицы (*row-to-instance extraction*) согласно определённой аннотации столбцов и связей между ними. Для каждой ячейки сущностного (тематического) столбца формируется конкретная сущность со ссылкой (*rdf:type*) на определённый релевантный класс и соответствующим свойством (предикатом), связывающим её с другой сущностью (для категориальных столбцов) или литералом (для литеральных столбцов). Таким образом, на выходе генерируется документ в формате *RDF*, содержащий извлечённые конкретные сущности со ссылками на их классы и свойства. Извлечённые *RDF*-триплеты могут пополнить целевой ГЗ или онтологическую схему на аксиоматическом уровне – *ABox*.

### 2.3 Программная реализация подхода

Предлагаемый подход реализован в виде прототипа веб-ориентированного программного средства с клиент-серверной архитектурой (см. рисунок 2) на языках *Python* и *PHP*. Взаимодействие с программным средством осуществляется через открытый программный веб-

интерфейс – *REST API*. Связывание исходных табличных метаданных с целевым ГЗ или онтологической схемой выполняется пользователем посредством клиентской части средства.

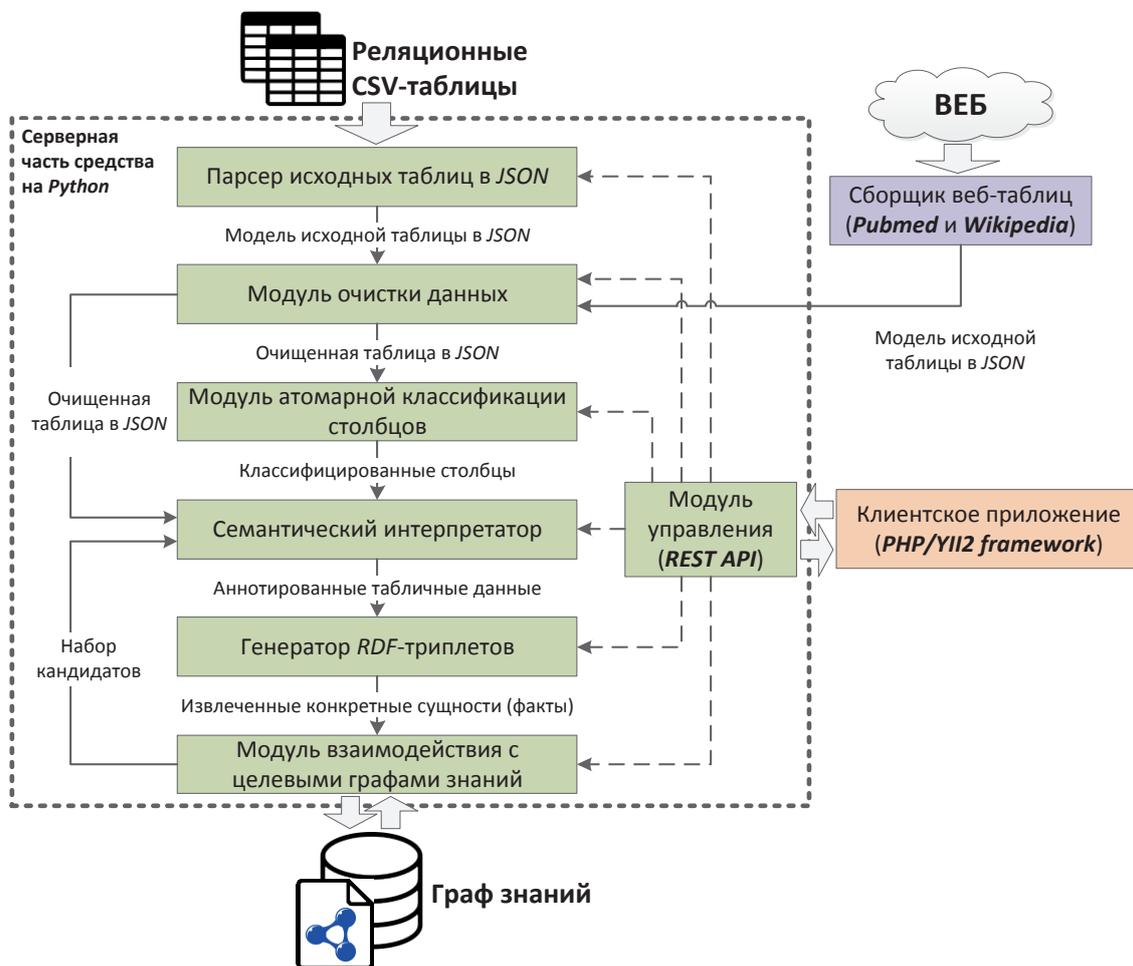


Рисунок 2 – Архитектура разработанного веб-ориентированного программного средства

Основные модули программного средства и их назначение:

- *парсер исходных таблиц в JSON* обеспечивает преобразование исходных таблиц из формата *CSV* в модель представления таблиц в формате *JSON*;
- *модуль очистки данных* обеспечивает очистку табличных данных перед основной обработкой (семантическим аннотированием);
- *модуль атомарной классификации столбцов* обеспечивает типизацию столбцов в исходной таблице на категориальные и литеральные, используя *NER*-классы, а также определяет сущностный столбец среди категориальных;
- *семантический интерпретатор (аннотатор)* связывает табличные данные с классами и свойствами целевого ГЗ;
- *генератор RDF-триплетов* извлекает конкретные сущности (факты) из ячеек исходной таблицы и сериализует их в формате *RDF* на основе аннотированных табличных данных;
- *модуль взаимодействия с целевыми ГЗ* обеспечивает взаимодействие с целевым ГЗ общего назначения (например, *DBpedia*) или онтологической схемой через открытую точку доступа (например, *DBpedia SPARQL Endpoint*) или специальный *GraphQL*-интерфейс с целью получения наборов кандидатов классов, типов данных и свойств; обеспечивает

наполнение целевого ГЗ или онтологическую схему недостающими извлечёнными *RDF*-триплетами;

- *модуль управления* является ядром системы, обеспечивающим вызов функций остальных модулей с использованием интерфейса взаимодействия с клиентскими приложениями через открытый *REST API* на основе микро-фреймворка *Flask*;
- *клиентское приложение* представляет собой веб-сайт, разработанного на основе *PHP*-фреймворка *Yii2*, который позволяет запрашивать аннотацию исходной таблицы и генерацию *RDF*-триплетов по *REST API*;
- *сборщик веб-таблиц* выполняет поиск по ключевым словам и извлечение веб-таблиц в формате *JSON* из архива публикаций по биомедицине *PubMed* и статей *Wikipedia*.

### 3 Пример практического применения

Разработанный подход и программное средство использовались при решении задачи автоматизированного создания ПрГЗ в рамках двух научно-исследовательских проектов: ИСП РАН и Иркутского научно-исследовательского и конструкторского института химического и нефтяного машиностроения (ИркутскНИИхиммаш).

#### 3.1 Экспериментальная оценка

В рамках первого проекта проводился эксперимент с целью показать принципиальную возможность использования предлагаемого подхода и программного средства для наполнения ПрГЗ на основе табличных данных. Для этого были подготовлены три набора тестовых таблиц. Наборы формировались на основе сборщика данных (см. рисунок 2). Однако только для одного из этих наборов удалось создать релевантный целевой ГЗ, который использовался для дальнейшего семантического аннотирования таблиц. Целевой ГЗ был создан на платформе *TALISMAN*<sup>5</sup> и представляет собой семантический ориентированный граф, доступ к которому предоставляется через интерфейс *GraphQL*. Для тестирования был выбран и зарегистрирован набор данных – *wiki-UKU-49: United Kingdom Universities from Wikipedia*<sup>6</sup>. Таблицы для формирования этого набора извлекались из статей *Wikipedia* по категории «*Университеты Великобритании*». Всего было извлечено около 200 таблиц, 49 таблиц однотипных сущностей были отобраны вручную для эксперимента. Данные из отобранных таблиц аннотировались при помощи разработанного программного средства. На основе установленных аннотаций из таблиц было извлечено 1080 сущностей, которые дополнили тестовый ГЗ на платформе *TALISMAN*.

Экспериментальная количественная оценка была получена в процессе обработки таблиц из данного набора на этапах 2, 3, 5 и 7 (см. раздел 2.2).

На этапе классификации столбцов на категориальные и литеральные типы (*этап 2*) использовалась простая метрика точности:

$$accuracy = \frac{C}{N},$$

где  $C$  – количество правильно классифицированных столбцов;  $N$  – общее количество столбцов в исходной таблице.

Точность также рассчитывалась на этапе идентификации сущностного (тематического) столбца (*этап 3*). Если сущностный столбец в исходной таблице определялся правильно, то точность была равна 1, в противном случае – 0.

<sup>5</sup> <http://talisman.ispras.ru>.

<sup>6</sup> <https://data.mendeley.com/datasets/33v9tk6jjb/1>.

На этапе семантического аннотирования литеральных столбцов (этап 5) точность вычислялась по формуле:

$$accuracy = \frac{LC}{LN},$$

где  $LC$  – количество правильно аннотированных литеральных столбцов;  $LN$  – общее количество литеральных столбцов в исходной таблице.

На последнем этапе извлечения сущностей (фактов) из семантически аннотированных табличных данных (этап 7) точность вычислялась по формуле:

$$accuracy = \frac{E}{CV},$$

где  $E$  – количество правильно выделенных сущностей;  $CV$  – общее количество ячеек с уникальным содержимым для всех категориальных столбцов в исходной таблице.

Результаты экспериментальной оценки представлены в таблице 4.

Расчёт оценки производился только для полностью автоматических этапов, где не требовалось участие пользователя. Поэтому этапы семантического аннотирования столбцов (этап 4)

и отношений между ними (этап 6) были пропущены. Необходимо отметить, что не все элементы исходных таблиц были проаннотированы, так как построенный целевой ГЗ оказался не полным. Это сказалось на уменьшении оценки на этапе извлечения сущностей (этап 7).

Таблица 4 – Экспериментальная оценка для набора данных «wiki-UKU-49: United Kingdom Universities from Wikipedia»

Этапы подхода	Accuracy
Атомарная классификация столбцов (этап 2)	0.95
Идентификация сущностного столбца (этап 3)	0.94
Аннотирование литеральных столбцов (этап 5)	0.96
Извлечение конкретных сущностей (этап 7)	0.73

### 3.2 Применение в задачах ЭПБ

В рамках второго проекта применение подхода проводилось при конструировании ПрГЗ для СППР в области ЭПБ [23]. ЭПБ представляет собой процедуру, которая заключается в подтверждении соответствия технического объекта требованиям промышленной безопасности. Для поддержки процедуры ЭПБ разрабатывается система, которая предназначена для диагностики и оценки технических состояний нефтехимического оборудования и технологических комплексов, в частности, путём интерпретации условий и параметров функционирования технических систем, а также параметров их технического состояния. В связи с этим, система должна располагать знаниями о техническом объекте и о различных воздействующих факторах. Ранее была разработана онтологическая схема, описывающая основные понятия и взаимосвязи для задач ЭПБ [4]. Цель текущего исследования состояла в наполнении этой схемы конкретными сущностями (фактами) для получения ПрГЗ с использованием таблиц в качестве основного источника информации.

Исходные таблицы были представлены в формате *CSV* и получены путём преобразования таблиц с произвольной компоновкой, извлечённых из отчётов по ЭПБ формы «2.04-01/03-08» АО ИркутскНИИхиммаш. В результате был сформирован и зарегистрирован набор данных (корпус) – *ISI-167E: Entity Spreadsheet Tables*. Набор содержит 167 реляционных таблиц однотипных сущностей. Пример фрагмента исходной таблицы с описанием фитингов из этого набора представлен в таблице 5. Все исходные таблицы из набора *ISI-167E* были семантически аннотированы на основе разработанной онтологической схемы (см. рисунок 3). Процесс аннотирования выполнялся с использованием разработанного программного средства. На рисунке 4 представлен фрагмент страницы веб-приложения с атомарными типами столбцов и аннотациями для таблицы с описанием фитингов.

Таблица 5 – Фрагмент исходной таблицы с описанием фитингов

Обознач. по чер-жу	Наименование	Кол., шт.	Условный переход, мм	Условное давление, МПа	Материал Марка
Б	Выход остатка продукта патрубков 159x4,5-180	1	150	25	Сталь 20
В	Выход паров продукта патрубков 273x8-200	1	250	25	Сталь 20
Г 1-3	Вход теплоносителя патрубков 159x4,5-190	3	150	25	Сталь 20
Е	Дренаж патрубков 57x4-110	1	50	25	Сталь 20
Ж	Люк-лаз патрубков 480x10-200	1	450	25	09Г2С
З 1-2	Бобышка регулятора уровня	2	40	-	Сталь 20
К 1-3	Люк монтажный патрубков 219x6-258	3	200	25	Сталь 20
Поз.9	Штуцер ввода трубн.пучка патрубков (1,2,3)700x36-335	3	700	25	09Г2С

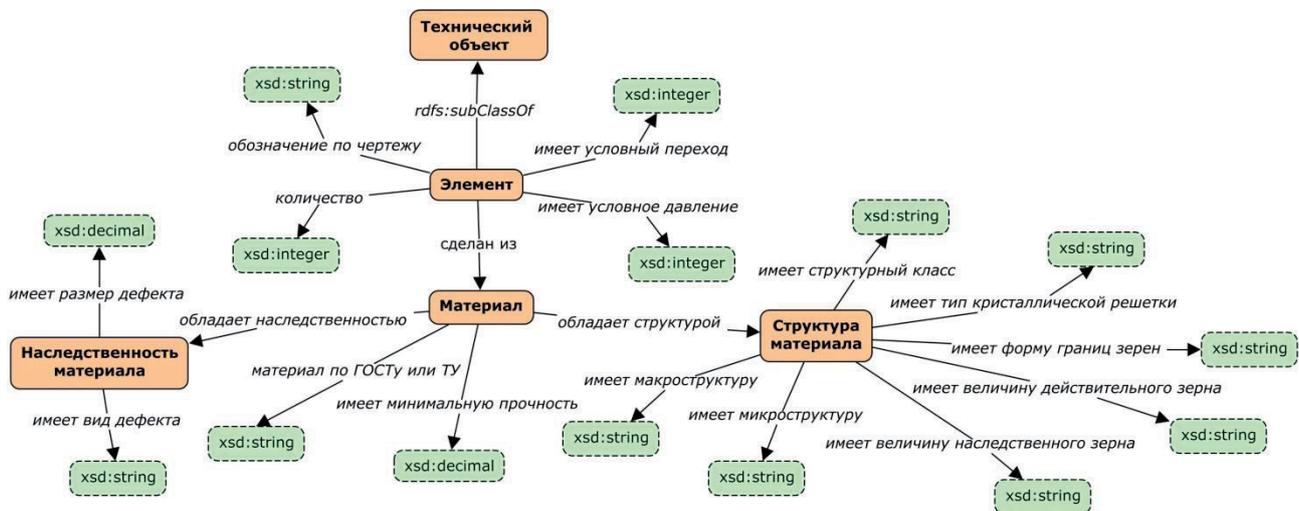


Рисунок 3 – Фрагмент онтологической схемы

Сущностный (тематический) столбец   
  Категориальный столбец   
  Литеральный столбец

Показаны записи 1-22 из 22

#	Обозначение по чертежу	Наименование [Элемент]	Кол., шт. [количество]	Условный переход, мм	Условное давление, МПа	Материал Марка [Материал] [сделан из]
1	Б	Выход остатка продукта патрубков 159x4,5-180	1	150	25	Сталь 20
2	В	Выход паров продукта патрубков 273x8-200	1	250	25	Сталь 20
3	Г 1-3	Вход теплоносителя патрубков 159x4,5-190	3	150	25	Сталь 20
4	Е	Дренаж патрубков 57x4-110	1	50	25	Сталь 20
5	Ж	Люк-лаз патрубков 480x10-200	1	450	25	09Г2С
6	З 1-2	Бобышка регулятора уровня	2	40		Сталь 20
7	К 1-3	Люк монтажный патрубков 219x6-258	3	200	25	Сталь 20
8	Поз.9	Штуцер ввода трубн.пучка патрубков (1,2,3)700x36-335	3	700	25	09Г2С

Рисунок 4 – Фрагмент страницы веб-приложения с обработанной таблицей

На рисунке 5 представлена схема полного семантического аннотирования исходной таблицы с описанием фитингов, включая извлечённые сущности (факты) из первой строки.

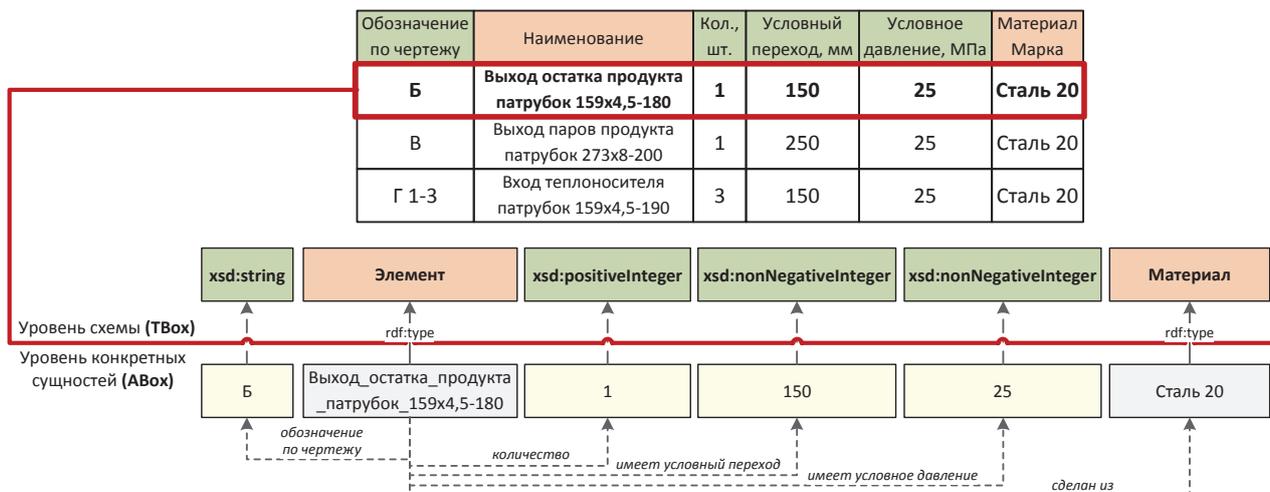


Рисунок 5 – Пример аннотированных табличных данных с извлечёнными сущностями из первой строки исходной таблицы с описанием фитингов

На основе установленных аннотаций для всех таблиц из набора *ISI-167E* было извлечено 1036 уникальных сущностей, которые дополнили онтологическую схему на аксиоматическом уровне *АВох*.

## Заключение

В статье представлен подход для автоматизированной семантической интерпретации реляционных таблиц однотипных сущностей и извлечения конкретных сущностей (фактов) из аннотированных табличных данных. Извлечённые сущности могут пополнить целевой ГЗ или онтологическую схему на уровне конкретных данных (*АВох*). Предлагаемый подход реализован в форме веб-ориентированного программного средства.

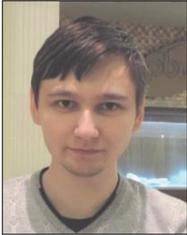
Применение предлагаемого подхода и разработанного средства осуществлено в рамках научно-исследовательских проектов ИСП РАН и АО «ИркутскНИИхиммаш». Получена экспериментальная оценка подхода на тестовом наборе данных, которая показала его перспективность для задач наполнения целевого ГЗ конкретными сущностями, извлечёнными из таблиц. Решена практическая задача наполнения конкретными сущностями ранее разработанной онтологической схемы для СППР в области ЭПБ нефтехимического оборудования и технологических комплексов.

## Список источников

- [1] Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., d'Amato C., Melo G.D., Gutierrez C., Gayo J.E.L., Kirrane S., Neumaier S., Polleres A., Navigli R., Ngomo A.-C.N., Rashid S.M., Rula A., Schmelzeisen L., Sequeda J., Staab S., Zimmermann A. Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys*. 2021. Vol. 54(4). P.1-37.
- [2] Villazon-Terrazas B., Garcia-Santa N., Ren Y., Srinivas K., Rodriguez-Muro M., Alexopoulos P., Pan J.Z. Construction of Enterprise Knowledge Graphs (I). Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations. Springer, Cham. 2017.
- [3] Lehmborg O., Ritze D., Meusel R., Bizer C. A large public corpus of web tables containing time and context metadata. In: Proc. of the 25th Int. Conf. Companion on World Wide Web, 2016. P.75-76.

- [4] **Видия А.В., Дородных Н.О., Юрин А.Ю.** Подход к созданию онтологий на основе преобразования электронных таблиц с произвольной компоновкой. *Онтология проектирования*. 2021. Т. 11. № 2(40). С.212-226. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-212-226.
- [5] **Ré C., Sadeghian A.A., Shan Z., Shin J., Wang F., Wu S., Zhang C.** Feature engineering for knowledge base construction. *IEEE Data Engineering Bulletin*. 2014. Vol. 37. P.26-40.
- [6] **Balog K.** Populating knowledge bases. In: *Entity-Oriented Search. The Information Retrieval Series*. Springer, Cham. 2018. Vol. 39. P.189-222.
- [7] **Zhang S., Balog K.** Web table extraction, retrieval, and augmentation: A survey. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*. 2020. Vol. 11(2). P.1-35.
- [8] **De Vos M., Wielemaker J., Rijgersberg H., Schreiber G., Wielinga B., Top J.** Combining information on structure and content to automatically annotate natural science spreadsheets. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2017. Vol. 103. P.63-76.
- [9] **Maguire E., González-Beltrán A., Whetzel P.L., Sansone S.A., Rocca-Serra P.** On-toMaton: A bioportal powered ontology widget for Google Spreadsheets. *Bioinformatics*. 2013. Vol. 29(4). P.525-527.
- [10] **Ritze D., Bizer C.** Matching web tables to DBpedia - A feature utility study. In: *Proc. of the 20th Int. Conf. on Extending Database Technology (EDBT'17)*. 2017. P.210-221.
- [11] **Zhang Z.** Effective and efficient semantic table interpretation using TableMiner+. *Semantic Web*. 2017. Vol. 8(6). P.921-957.
- [12] **Efthymiou V., Hassanzadeh O., Rodriguez-Muro M., Christophides V.** Matching web tables with knowledge base entities: From entity lookups to entity embeddings. In: *Proc. of the 16th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2017)*. 2017. P.260-277.
- [13] **Takeoka K., Oyamada M., Nakadai S., Okadome T.** Meimei: An efficient probabilistic approach for semantically annotating tables. *Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence*. 2019. Vol. 33(1). P.281-288.
- [14] **Chen J., Jimenez-Ruiz E., Horrocks I., Sutton C.** ColNet: Embedding the semantics of web tables for column type prediction. *Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence*. 2019. Vol. 33(1). P.29-36.
- [15] **Hulsebos M., Hu K., Bakker M., Zraggen E., Satyanarayan A., Kraska T., Demiralp Ç., Hidalgo C.** Sherlock: A Deep Learning Approach to Semantic Data Type Detection. In: *Proc. of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery & Data Mining*. 2019. P.1500-1508.
- [16] **Kruit B., Boncz P., Urbani J.** Extracting Novel Facts from Tables for Knowledge Graph Completion. *Proc. of the 18th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2019). Lecture Notes in Computer Science*. 2019. Vol. 11778. P.364-381.
- [17] **Cremaschi M., Paoli F.D., Rula A., Spahiu B.** A fully automated approach to a complete Semantic Table Interpretation // *Future Generation Computer Systems*. 2020. Vol. 112. P.478-500.
- [18] **Deng X., Sun H., Lees A., Wu Y., Yu C.** TURL: Table Understanding through Representation Learning. *Proc. of the VLDB Endowment*. 2020. Vol. 14(3). P.307-319.
- [19] **Xie J., Lu Y., Cao C., Li Z., Guan Y., Liu Y.** Joint Entity Linking for Web Tables with Hybrid Semantic Matching. *Proc. of the Int. Conf. on Computational Science. Lecture Notes in Computer Science*. 2020. Vol. 12138. P.618-631.
- [20] **Huynh V.-P., Liu J., Chabot Y., Deuzé F., Labbé T., Monnin P., Troncy R.** DAGOBAN: Table and Graph Contexts for Efficient Semantic Annotation of Tabular Data. *Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). SemTab*. 2021. P.19-31.
- [21] **Nguyen P., Yamada I., Kertkeidkachorn N., Ichise R., Takeda H.** SemTab 2021: Tabular Data Annotation with MTab Tool. *Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). SemTab*. 2021. P.92-101.
- [22] **Vu B., Knoblock C.A., Szekely P., Pham M., Pujara J.** A Graph-Based Approach for Inferring Semantic Descriptions of Wikipedia Tables. *Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). Lecture Notes in Computer Science*. 2021. Vol. 12922. P.304-320.
- [23] **Берман А.Ф., Кузнецов К.А., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю.** Информационно-аналитическая поддержка экспертизы промышленной безопасности объектов химии, нефтехимии и нефтепереработки. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2018. № 8. С.30-36.

## Сведения об авторах



**Дородных Никита Олегович**, 1990 г. рождения. Окончил Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрННТУ) (2012), к.т.н. (2018). Старший научный сотрудник Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (ИДСТУ СО РАН). В списке научных трудов около 70 работ в области автоматизации создания интеллектуальных систем и баз знаний, получения знаний на основе преобразования концептуальных моделей и электронных таблиц. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. [tualatin32@mail.ru](mailto:tualatin32@mail.ru). ✉.

**Юрин Александр Юрьевич**, 1980 г. рождения. Окончил ИрННТУ (2002), к.т.н. (2005). Заведующий лабораторией Информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности ИДСТУ СО РАН, доцент Института информационных технологий и анализа данных ИрННТУ. Член РАИИ и Ассоциации вычислительной техники. Член редколлегии международного научного журнала «Computer, Communication & Collaboration». В списке научных трудов более 100 работ в области разработки систем поддержки принятия решений, экспертных систем и баз знаний, использования прецедентного подхода и семантических технологий при проектировании интеллектуальных диагностических систем. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. [iskander@icc.ru](mailto:iskander@icc.ru).



Поступила в редакцию 02.06.2022, после рецензирования 24.07.2022. Принята к публикации 11.08.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352

# An approach for automated knowledge graph filling with entities based on table analysis

© 2022, N.O. Dorodnykh✉, A.Yu. Yurin

*Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (ISDCT SB RAS), Irkutsk, Russia*

## Abstract

The use of Semantic Web technologies including ontologies and knowledge graphs is a widespread practice in the development of modern intelligent systems for information retrieval, recommendation and question-answering. The process of developing ontologies and knowledge graphs involves the use of various information sources, for example, databases, documents, conceptual models. Tables are one of the most accessible and widely used ways of storing and presenting information, as well as a valuable source of domain knowledge. In this paper, it is proposed to automate the extraction process of specific entities (facts) from tabular data for the subsequent filling of a target knowledge graph. A new approach is proposed for this purpose. A key feature of this approach is the semantic interpretation (annotation) of individual table elements. A description of its main stages is given, the application of the approach is shown in solving practical problems of creating subject knowledge graphs, including in the field of industrial safety expertise of petrochemical equipment and technological complexes. An experimental quantitative evaluation of the proposed approach was also obtained on a test set of tabular data. The obtained results showed the feasibility of using the proposed approach and the developed software to solve the problem of extracting facts from tabular data for the subsequent filling of the target knowledge graph.

**Key words:** *semantic web, knowledge graph, semantic table interpretation, table annotation, entity extraction, table.*

**For citation:** *Dorodnykh NO, Yurin AYu. An approach and web-based tool for automated knowledge graph filling with entities from tables [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 336-352. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-336-352.*

**Acknowledgment:** We express our gratitude to reviewers and members of the Editorial Board who made valuable comments and recommendations for improving this paper.

**Financial Support:** The reported study was supported by the Council for Grants of the President of Russia (grant No. SP-978.2022.5) and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project no. 121030500071-2 "Methods and technologies of a cloud-based service-oriented platform for collecting, storing and processing large volumes of multi-format interdisciplinary data and knowledge based upon the use of artificial intelligence, model-driven approach and machine learning").

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

## List of figures and tables

Figure 1 - Main stages of the proposed approach

Figure 2 - The architecture of the developed web-based tool

Figure 3 - A fragment of the ontological scheme

Figure 4 - A fragment of a web application with a processed table

Figure 5 - An example of annotated tabular data with extracted specific entities from the first row of the source table with a description of fittings

Table 1 - Mapping between NER classes and cell types

Table 2 - Mapping between additional NER classes and cell types

Table 3 - Mappings between literal NER classes and XML Schema datatypes

Table 4 - Experimental evaluation for the data set «wiki-UKU-49: United Kingdom Universities from Wikipedia»

Table 5 - A fragment of the source table with a description of fittings

## References

- [1] *Hogan A, Blomqvist E, Cochez M, d'Amato C, Melo GD, Gutierrez C, Gayo JEL, Kirrane S, Neumaier S, Polleres A, Navigli R, Ngomo A-CN, Rashid SM, Rula A, Schmelzeisen L, Sequeda J, Staab S, Zimmermann A.* Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys.* 2021; 54(4): 1-37.
- [2] *Villazon-Terrazas B, Garcia-Santa N, Ren Y, Srinivas K, Rodriguez-Muro M, Alexopoulos P, Pan JZ.* Construction of Enterprise Knowledge Graphs (I). *Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations.* Springer, Cham. 2017.
- [3] *Lehmberg O, Ritze D, Meusel R, Bizer C.* A large public corpus of web tables containing time and context metadata // In: Proc. of the 25th Int. Conf. Companion on World Wide Web, 2016. P.75-76.
- [4] *Vidia AV, Dorodnykh NO, Yurin AYU.* An approach to ontology engineering based on transformation of arbitrary spreadsheets [In Russian]. *Ontology of designing.* 2021; 11(2): 212-226. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-212-226.
- [5] *Ré C, Sadeghian AA, Shan Z, Shin J, Wang F, Wu S, Zhang C.* Feature engineering for knowledge base construction. *IEEE Data Engineering Bulletin.* 2014; 37: 26-40.
- [6] *Balog K.* Populating knowledge bases. In: *Entity-Oriented Search. The Information Retrieval Series.* Springer, Cham. 2018; 39: 189-222.
- [7] *Zhang S, Balog K.* Web table extraction, retrieval, and augmentation: A survey // *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology.* 2020; 11(2): 1-35.
- [8] *De Vos M, Wielemaker J, Rijgersberg H, Schreiber G, Wielinga B, Top J.* Combining information on structure and content to automatically annotate natural science spreadsheets. *International Journal of Human-Computer Studies.* 2017; 103: 63-76.
- [9] *Maguire E, González-Beltrán A, Whetzel PL, Sansone SA, Rocca-Serra P.* On-toMaton: A bioportal powered ontology widget for Google Spreadsheets. *Bioinformatics.* 2013; 29(4): 525-527.
- [10] *Ritze D, Bizer C.* Matching web tables to DBpedia - A feature utility study. In: Proc. of the 20th Int. Conf. on Extending Database Technology (EDBT'17). 2017. P.210-221.
- [11] *Zhang Z.* Effective and efficient semantic table interpretation using TableMiner+. *Semantic Web.* 2017; 8(6): 921-957.
- [12] *Efthymiou V, Hassanzadeh O, Rodriguez-Muro M, Christophides V.* Matching web tables with knowledge base entities: From entity lookups to entity embeddings. In: Proc. of the 16th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2017). 2017. P.260-277.
- [13] *Takeoka K, Oyamada M, Nakadai S, Okadome T.* Meimei: An efficient probabilistic approach for semantically annotating tables. Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence. 2019; 33(1): 281-288.

- [14] **Chen J, Jimenez-Ruiz E, Horrocks I, Sutton C.** ColNet: Embedding the semantics of web tables for column type prediction. Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence. 2019; 33(1): 29-36.
  - [15] **Hulsebos M, Hu K, Bakker M, Zraggen E, Satyanarayan A, Kraska T, Demiralp Ç, Hidalgo C.** Sherlock: A Deep Learning Approach to Semantic Data Type Detection. In: Proc. of the 25th ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery & Data Mining. 2019. P.1500-1508.
  - [16] **Kruit B, Boncz P, Urbani J.** Extracting Novel Facts from Tables for Knowledge Graph Completion. Proc. of the 18th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2019). Lecture Notes in Computer Science. 2019; 11778: 364-381.
  - [17] **Cremaschi M, Paoli FD, Rula A, Spahiu B.** A fully automated approach to a complete Semantic Table Interpretation. *Future Generation Computer Systems*. 2020; 112: 478-500.
  - [18] **Deng X, Sun H, Lees A, Wu Y, Yu C.** TURL: Table Understanding through Representation Learning. Proc. of the VLDB Endowment. 2020; 14(3): 307-319.
  - [19] **Xie J, Lu Y, Cao C, Li Z, Guan Y, Liu Y.** Joint Entity Linking for Web Tables with Hybrid Semantic Matching. Proc. of the Int. Conf. on Computational Science. Lecture Notes in Computer Science. 2020; 12138: 618-631.
  - [20] **Huynh V-P, Liu J, Chabot Y, Deuzé F, Labbé T, Monnin P, Troney R.** DAGOBAB: Table and Graph Contexts for Efficient Semantic Annotation of Tabular Data. Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). SemTab. 2021. P.19-31.
  - [21] **Nguyen P, Yamada I, Kertkeidkachorn N, Ichise R, Takeda H.** SemTab 2021: Tabular Data Annotation with MTab Tool. Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). SemTab. 2021. P.92-101.
  - [22] **Vu B, Knoblock CA, Szekely P, Pham M, Pujara J.** A Graph-Based Approach for Inferring Semantic Descriptions of Wikipedia Tables. Proc. of the 20th Int. Semantic Web Conf. (ISWC'2021). Lecture Notes in Computer Science. 2021; 12922: 304-320.
  - [23] **Berman AF, Kuznetsov KA, Nikolaychuk OA, Pavlov AI, Yurin AYu.** Information and analytical support for the examination of industrial safety of chemical, petrochemical and oil refining facilities [In Russian]. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2018; 8: 30-36.
- 

## About the authors

**Nikita Olegovich Dorodnykh** (b. 1990) graduated from INRTU in 2012, PhD (2018). He is a senior associate researcher at ISDCT SB RAS. Co-author of about 70 publications in the field of computer-aided development of intelligent systems and knowledge bases, knowledge acquisition based on the transformation of conceptual models and tables. ORCID: 0000-0001-7794-4462; Author ID (RSCI): 979843; Author ID (Scopus): 57202323578; Researcher ID (WoS): E-8870-2014. [tualatin32@mail.ru](mailto:tualatin32@mail.ru). ✉.

**Alexander Yurievich Yurin** (b.1980) graduated from the INRTU in 2002, PhD (2005). He is the Head of the "Information and telecommunication technologies for investigation of natural and technogenic safety" laboratory at ISDCT SB RAS and associate professor of the Institute of information technologies and data analysis of INRTU. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (RAAI) and Association for Computing Machinery (ACM). He is a member of the Editorial Board of the international scientific journal "Computer, Communication & Collaboration". The list of scientific works includes more than 100 scientific papers in the field of development of decision support systems, expert systems and knowledge bases, application of the case-based reasoning and semantic technologies in the design of diagnostic intelligent systems, maintenance of reliability and safety of complex technical systems. ORCID: 0000-0001-9089-5730; Author ID (RSCI): 174845; Author ID (Scopus): 16311168300; Researcher ID (WoS): A-4355-2014. [iskander@icc.ru](mailto:iskander@icc.ru).

---

Received June 2, 2022. Revised July 24, 2022. Accepted August 11, 2022.

---



## Интеграция телекоммуникационных сетей в системе мониторинга с использованием доменных онтологий

© 2022, И.А. Куликов<sup>1</sup>✉, Н.А. Жукова<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

Обсуждаются вопросы проектирования облачных систем мониторинга телекоммуникационных сетей, основанных на построении и применении моделей таких сетей в форме графов знаний. Предлагаемые системы мониторинга объединяют в себе функции систем, используемых различными операторами телекоммуникационных сетей. Рассматриваемый подход к проектированию предполагает использование ряда общих онтологий и онтологий доменного уровня, таких как доменная онтология телекоммуникационных услуг (*TSDO*) и онтология гибридной телекоммуникационной сети (*ToCo*). Для учёта специфики сетей и операторов в разрабатываемой системе мониторинга предусматривается расширение доменной онтологии. В статье рассматривается случай объединения в рамках одной системы мониторинга телекоммуникационных сетей, построенных на основе различных онтологий доменного уровня либо без использования онтологической модели, путём добавления новых онтологий. Для автоматизации процесса проектирования предложен алгоритм сопоставления классов доменных онтологий с компонентами моделей телекоммуникационных сетей. Показано применение предложенного подхода на примере задачи добавления нового сегмента сети в систему мониторинга оператора кабельного телевидения.

**Ключевые слова:** онтология, граф знаний, телекоммуникационная сеть, система мониторинга, домен, кабельное телевидение.

**Цитирование:** Куликов И.А., Жукова Н.А. Интеграция телекоммуникационных сетей в системе мониторинга с использованием доменных онтологий // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.353-366. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366.

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

### Введение

Значительная часть современных систем мониторинга телекоммуникационных сетей (ТС) применяется для решения следующих типовых задач мониторинга [1]: производительности сети; аварийных ситуаций и учётных записей пользователей и их действий.

Современные ТС включают в свой состав многие подсистемы и имеют динамическую структуру. В этих условиях системы мониторинга при решении практических задач должны быть способны использовать одновременно данные различных подсистем (например, данные о топологии сети, правах доступа, данные биллинговой подсистемы), а также - к перенастройке при изменении структуры сети. Существует множество доступных инструментов мониторинга как с открытым исходным кодом, так и коммерческих [2]. Операторы ТС заинтересованы в получении данных от систем мониторинга всех сегментов своей сети независимо от применяемых в них решений и технологий. Для этого необходима унификация моделей сегментов сетей и их параметров с последующей интеграцией этих моделей в рамках единой системы мониторинга, которая позволит получать данные мониторинга от всех сегментов сети.

В случае реализации сервисно-ориентированного подхода построения системы мониторинга, возможна реализация облачной платформы мониторинга, позволяющей подключить к ней сети различных операторов ТС и интегрировать в неё ТС без построения собственных систем мониторинга, что снизит их операционные издержки. Поэтому эффективное подключение сетей операторов к облачной платформе является актуальной задачей. Для решения задачи построения облачной платформы мониторинга в качестве основного архитектурного решения предложены системы мониторинга ТС на основе графов знаний (ГЗ) [3]. В статье [4] в рамках разработки архитектуры системы мониторинга на основе ГЗ проработаны вопросы использования доменных онтологий для интеграции различных сегментов сетей одного оператора [5], а также интеграция сетей различных операторов в рамках единой облачной платформы мониторинга [6], когда сети или их сегменты построены на основе доменных онтологий ТС. Используемые для облачной платформы мониторинга онтологии могут относиться к трём уровням [7-11]: онтологии верхнего уровня (или базовые онтологии), онтологии среднего уровня (или онтологии предметной области, ПрО) и онтологии нижнего уровня – онтологии приложений. Онтология верхнего уровня должна быть достаточно компактной, поскольку онтологии ПрО наследуют её классы и свойства [12, 13]. Наиболее общие классы онтологии конкретной ПрО могут быть помещены в онтологию верхнего уровня. Онтологии верхнего уровня способствуют ликвидации логического разрыва между разными ПрО. Онтологию среднего уровня можно рассматривать как предметно-ориентированную часть словаря. Как правило, онтологии нижнего уровня являются публичными, потому что они содержат общую информацию о ПрО. Дополнительные сведения о ПрО помещаются в онтологию уровня приложения. Онтология приложения не является онтологией в строгом смысле, поскольку онтологии этого типа не являются общими, а представляют собой словарь для конкретного приложения или системы [14, 15]. Однако часто сети оператора спроектированы без использования онтологий и представляют собой сеть из связанных объектов различных типов, данные о которых представлены в том или ином формате.

В статье поставлена задача и построен алгоритм автоматизированного сопоставления классов доменных онтологий с элементами моделей сети оператора ТС, дано описание предлагаемого алгоритма и рассмотрен пример его использования при интеграции нового сегмента в сеть оператора кабельного телевидения.

## 1 Онтологии для телекоммуникационных сетей

Онтологии используются как словарь, в котором представлен набор классов и отношения между этими классами в определённой ПрО. Такое представление имеет формально определённую и общепринятую структуру [16-19]. Доменная онтология может быть представлена как база знаний ПрО. Для домена ТС онтология описывает набор сетевых узлов, таких как коммутаторы, маршрутизаторы, устройства хранения и связи между ними. Существует ряд онтологий, разработанных для ТС.

- Онтология *NDL* (от англ. *Network Description Language* - язык описания сети) используется для описания субонтологий. Существуют субонтологии: *топологии сети*, которая описывает взаимосвязи между сетевыми устройствами; *слоёв*, описывающая применяемые технологии; *функций сети* - описывает функциональные возможности сети; *ПрО* - создаёт абстрактные представления ТС; *физического уровня сети* - описывает физические представления элементов ТС [20].
- Онтология *TSDO* (от англ. *Telecommunications Service Domain Ontology* – доменная онтология телекоммуникационных сервисов) [21] определяет концепции и отношения для описания знаний о домене телекоммуникационных услуг и поддерживает описания

свойств ТС. *TSDO* основана на подходе семантического описания (*TelecomOWL-S*) и построена для услуг сети электросвязи [22]. Это даёт возможность точного описания и сопоставления услуг ТС с аннотированной семантической информацией в случае открытой интегрированной сети [23].

- Онтология беспроводной сети 3G [24] разработана для конфигурации транспорта беспроводной сети и включает две субонтологии: онтологию ПрО и онтологию решаемых задач.
- Мобильная онтология [25] предоставляет возможность реструктурировать онтологии. Это масштабируемое решение с несколькими подключаемыми субонтологиями: сервисы, профили, контент, сущности, контекст, субонтология коммуникационных ресурсов.
- Онтология *OOTN* (от англ. *Ontology for Optical Transport Networks* - онтология для оптических транспортных сетей) [12] - это онтология нижнего уровня.
- Онтология, принятая в «*OpenMobileNetwork*» [26], - связанный открытый набор данных о мобильных сетях и устройствах разработан на платформе с открытым исходным кодом.
- Онтология *ToCo* (от англ. *TOUCAN Ontology*) [27] - одна из современных структурированных онтологий домена ТС.
- Онтология *TNMO* (от англ. *Telecommunication Networks Monitoring Ontology* – онтология мониторинга ТС) [5] - онтология уровня приложения, предложенная как расширение доменных онтологий ТС (*TSDO* и *ToCo*) для целей проектирования систем мониторинга ТС на основе ГЗ. Онтологии для ГЗ определяют словарь, используемый ГЗ. Использование онтологий для ГЗ позволяет описывать разнородные статические и динамические данные о ТС с помощью классов, отношений и атрибутов. Использование онтологий также позволяет интегрировать информационные системы на базе ГЗ. Онтологию можно легко расширить, добавляя новые классы, отношения и атрибуты. Структура ГЗ на основе онтологии позволяет использовать стандартный набор инструментов *Semantic Web* и *RDF*, включая *SPARQL* [28], для извлечения данных.

Для построения моделей сегментов сети обычно используются доменные онтологии для ПрО ТС, например, такие как *TSDO* или *ToCo*. При построении системы мониторинга для описания ПрО мониторинга ТС может использоваться онтология *TNMO*, которая описывает отслеживаемые в процессе мониторинга события ТС и перечни типов элементов, включая их параметры. На уровне онтологии *TNMO* происходит интеграция классов онтологии мониторинга с классами доменной онтологии путём определения связей эквивалентности классов *tnmo:sameAs* [6]. Такая интеграция позволяет использовать разработанные модели данных для систем мониторинга, содержащиеся в *TNMO* с разнообразными сегментами сетей операторов, построенных на основе доменных онтологий.

Когда оператор одновременно эксплуатирует сегменты сети, построенные на оборудовании и программном обеспечении разных поколений, часто более старые по времени создания сегменты не поддерживают онтологические модели. В этом случае требуется интеграция таких сегментов с онтологической моделью платформы мониторинга. Для такой интеграции возможно использовать метод обогащения онтологии, описанный в работе [29].

## 2 Постановка задачи

В качестве типового случая интеграции сети оператора в облачную систему мониторинга рассматривается интеграция сети или сегмента сети оператора, построенных без использования онтологических моделей. Архитектура облачной системы мониторинга построена на основе онтологии *TNMO*, поэтому при интеграции сегмента сети, модель которого не использует какую-то доменную онтологию, требуется применить алгоритм сопоставления эле-

ментов сегмента сети с классами онтологии *TNMO*. Для формулирования требований к такому алгоритму необходимо учитывать следующие особенности функционирующих ТС:

- ТС имеют сложную динамическую структуру, основным источником информации о них являются оперативные данные, полученные из сети;
- бизнес-процессы операторов ТС имеют высокую сложность, их выполнение требует тесного взаимодействия между несколькими информационными системами, в том числе системами сторонних производителей;
- особенности, определяемые целевыми группами абонентов, техническими ресурсами и т.д..

Сформулированы требования к алгоритму сопоставления данных. Алгоритм должен:

- обеспечивать возможность сопоставления с доменной онтологией разнородных статических и динамических данных о ТС без потери информации;
- учитывать возможность использования различных доменных онтологий сторонними производителями систем, эксплуатируемых в ТС;
- учитывать случаи, когда число параметров мониторинга изменяется на стороне подключаемой сети оператора;
- обеспечивать расширение онтологии *TNMO* на уровне приложения.

Таким образом, решаемая задача формулируется как разработка алгоритма, удовлетворяющего сформулированным требованиям и позволяющего в автоматическом или полуавтоматическом режиме сопоставлять классы онтологии *TNMO* с элементами подключаемой сети оператора, построенной без использования онтологических моделей.

### 3 Интеграция сети оператора

Логическая схема интеграции сети оператора, построенной без использования онтологической модели ТС, в облачную платформу мониторинга представлена на рисунке 1.

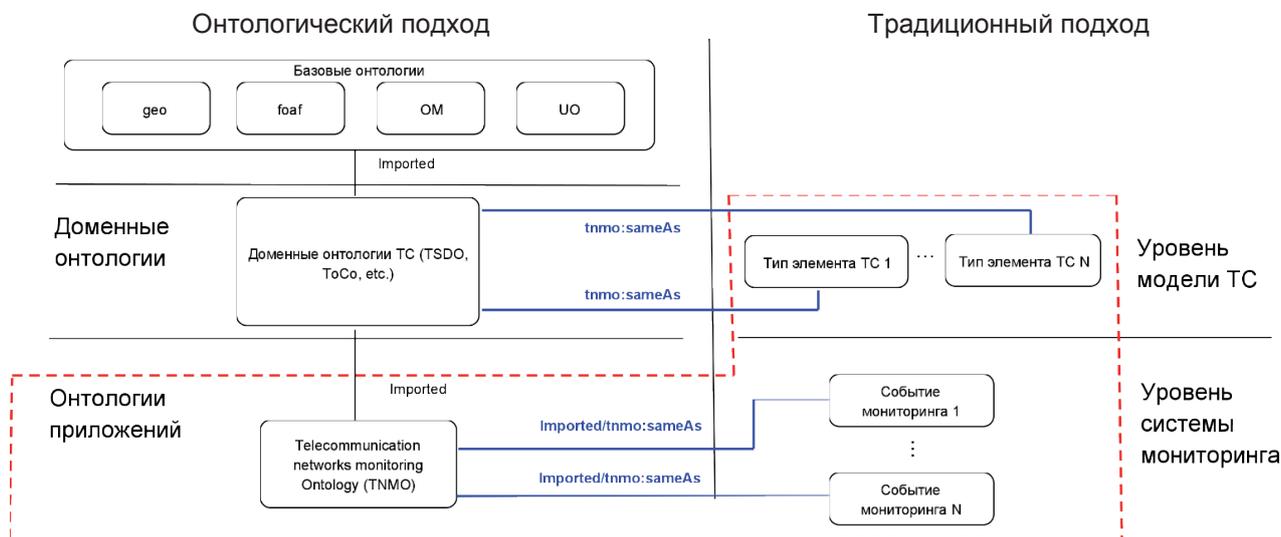


Рисунок 1 - Логическая схема интеграция сети оператора, построенной без использования онтологической модели ТС, в облачную платформу мониторинга

Онтологии ТС уровня Про (доменные онтологии ТС) содержат описания типов элементов ТС. Для элементов сетей операторов связи определяются соответствующие им элементы в доменных онтологиях, элементы связаны через *tnmo:sameAs*. Типы событий мониторинга связываются с уже описанными типами событий в онтологии *TNMO* также через

*tnmo:sameAs*. В случаях, когда тип события не определён в онтологии *TNMO*, онтология расширяется путём добавления нового типа события (связь *'imported'* на рисунке 1). При построении онтологии *TNMO* были использованы базовые и доменные онтологии [5].

*TNMO* является многоуровневой онтологией со следующими уровнями: уровнем базовой онтологии, уровнем онтологии ПрО и уровнем онтологии приложения. На уровне онтологии ПрО используется онтология *TSDO* или *ToCo*. Онтологии ПрО используются без модификаций. Онтологии базового уровня импортируются в онтологию ПрО.

*TNMO* связана с доменными онтологиями, используя следующие общие классы:

- *Device* - любое устройство ТС;
- *Link* - проводное или беспроводное соединение ТС;
- *Interface* - любой интерфейс ТС;
- *Service* - любая услуга ТС;
- *Data* - любой элемент данных в ТС (может быть описан в базовой онтологии).

Обобщённая информационная модель элемента сети оператора, построенной без онтологической модели, представлена на рисунке 2.

Предполагается, что каждый элемент сети относится к определённой сети оператора (ID Сети Оператора), к определённому типу (Тип Элемента Сети) и имеет ряд атрибутов (Атрибуты Элемента Сети).

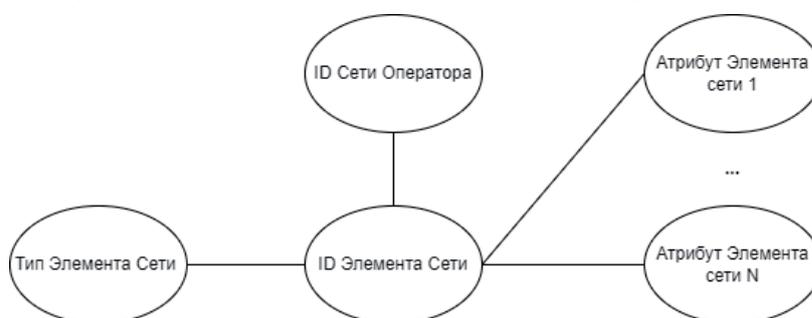


Рисунок 2 - Обобщённая информационная модель элемента сети оператора, построенной без онтологической модели

При интеграции подобной сети типы элементов сети добавляются в онтологию приложения *TNMO*, и её элементы далее связываются с элементами онтологии доменного уровня.

На рисунке 3 показан пример, когда в онтологию *TNMO* добавляется новый тип элемента сети – «Тип Элемента Сети», для него находится общий класс в доменной онтологии – *“net:Device”*, для атрибута, характеризующего исходящий трафик в онтологии *TNMO*, находится общий атрибут *“tnmo:OctetsSent”*. Элемент *“tnmo:Parameter\_M”* описывает параметр сетевого устройства для мониторинга.

Таким образом, сопоставляя типы элементов сетей операторов с типами элементов, определяемых классами доменных онтологий ТС и расширяя при необходимости онтологию мониторинга *TNMO*, возможно подключить практически любую сеть оператора связи к облачной платформе мониторинга.

#### 4 Алгоритм сопоставления классов онтологии с типами элементов ТС

Модели сети операторов, даже в условиях, когда они не строились на основе доменных онтологий, содержат большой объём метаданных о каждом элементе. Наличие метаданных позволяет сопоставлять типы элементов и их атрибуты с классами и свойствами доменной онтологии или *TNMO*. Сопоставление для части элементов выявляется в автоматическом режиме, для остальных элементов - выполняется с привлечением экспертов. Алгоритм сопоставления классов онтологии с элементами ТС представлен на рисунке 4.

Перед выполнением алгоритма необходимо составить список типов элементов, входящих в сеть оператора. Количество элементов сети –  $I$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ). Для каждого типа элемента составляются перечни атрибутов. Количество атрибутов для  $i$ -го элемента –  $J_i$  ( $j = 1, 2, \dots, J_i$ ).

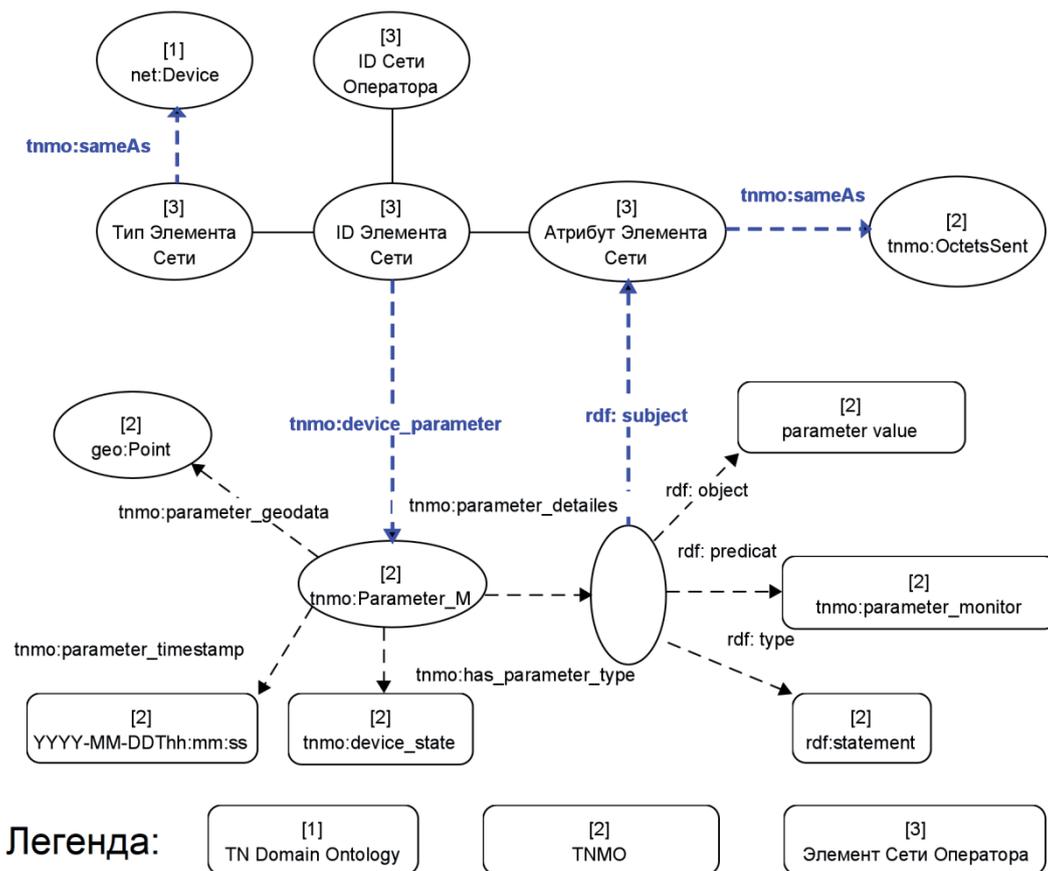


Рисунок 3 - Интеграция элемента сети оператора на уровне онтологии для случая с событием мониторинга – мониторинг параметра элемента сети

*Входные данные:*

список типов элементов сети оператора;  
 списки атрибутов для каждого типа элемента сети оператора.

*Выходные данные:*

расширенная онтология *TNMO*;  
 список типов элементов сети оператора для ручной обработки экспертом.

*Алгоритм* включает в себя следующие шаги:

- 1) устанавливается начальное значение счётчика типов элементов сети оператора  $i = 1$ ;
- 2) производится поиск соответствия метаданных элемента сети  $i$  и метаданных классов доменной онтологии;
- 3) если соответствующий элемент найден в доменной онтологии, то переход на Шаг 4, если нет, то переход на Шаг 5;
- 4) формирование связи *tnmo:sameAs* между элементом сети  $i$  и соответствующим классом доменной онтологии на уровне онтологии *TNMO*, переход на Шаг 6;
- 5) элемент сети  $i$  помечается для поиска соответствия с классом доменной онтологии с привлечением эксперта в ручном режиме;
- 6) установка счётчика атрибутов для элемента сети оператора  $i: j=1$ ;
- 7) поиск соответствия метаданных атрибута  $j$  элемента сети  $i$  и атрибутов классов в онтологии *TNMO*;
- 8) если соответствующий атрибут найден в онтологии *TNMO*, то переход на Шаг 9, если нет, то переход на Шаг 10;

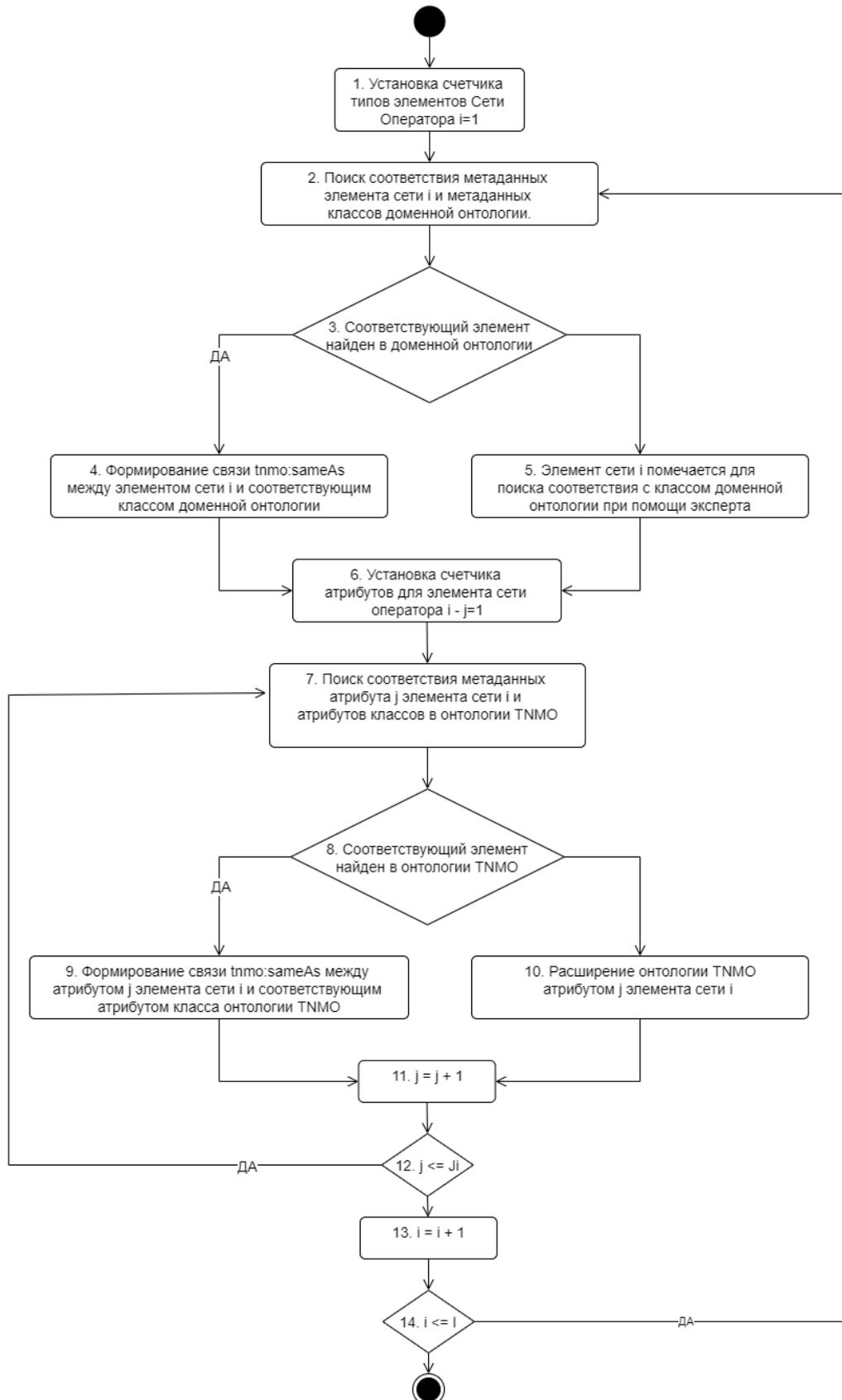


Рисунок 4 - Алгоритм сопоставления классов онтологии с элементами ТС

- 9) формирование связи *tnmo:sameAs* между атрибутом *j* элемента сети *i* и соответствующим атрибутом класса онтологии *TNMO*, переход на Шаг 11;
- 10) расширение онтологии *TNMO* новым атрибутом *j* для класса, описывающего элемент сети *i*;
- 11) увеличение счётчика атрибутов для элемента сети *i: j = j + 1*;
- 12) если рассмотрены не все атрибуты для *i*-го элемента ( $j \leq J_i$ ), то переход на Шаг 7;
- 13) увеличение счётчика типов элементов сети  $i = i + 1$ ;
- 14) если рассмотрены не все типы элементов сети ( $i \leq I$ ), то переход на Шаг 2;
- 15) конец.

Представленный алгоритм позволяет выполнить автоматизированное сопоставление типов элементов сети оператора с классами доменной онтологии, сопоставить атрибуты элементов сети оператора с классами онтологии *TNMO* и автоматически расширить её, если соответствие не найдено.

## 5 Пример

### 5.1 Описание задачи

**Бизнес-задача:** Оператор ТС использует систему мониторинга сети, построенную без онтологической модели сети. ТС предоставляет услуги, приложения и доступ к контенту. Требуется подключение данной сети к облачной платформе мониторинга на базе ГЗ, для чего необходимо согласовать классы доменной онтологии с типами элементов сети оператора и расширить онтологию мониторинга *TNMO*.

**Исходные данные:** Типы элементов сети оператора и их атрибуты (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Типы элементов сети оператора и их атрибуты

Типы элементов ТС	
<i>CableTVNetwork</i>	Идентификатор сети оператора кабельного телевидения
<i>STB</i>	<i>Set Top Box</i> – пользовательская телевизионная приставка
<i>NetworkRouter</i>	Сетевой маршрутизатор
<i>VODAsset</i>	<i>Video On Demand Asset</i> - Видеоролик по запросу
<i>PPVEvent</i>	<i>Pay-per-View Event</i> – платная телевизионная передача
Атрибуты элементов ТС	
<i>OutgoingTraffic</i>	Переданный сетевой трафик, байт
<i>IncomingTraffic</i>	Полученный сетевой трафик, байт

### 5.2 OWL представление расширенной онтологии TNMO

Расширенные классы онтологии *TNMO* после подключения сети оператора кабельного телевидения к облачной платформе мониторинга в нотации *OWL* представлены в следующем виде:

```

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/userDevice"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_STB</rdfs:label>
    
```

```

</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/SystemDevice"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_VODAsset -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_VODAsset">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/VideoService"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_VODAsset</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_PPVEvent -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_PPVEvent">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/TNEntities"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://purl.org/toco/VideoService"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_PPVEvent</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsRecieved"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_STB_IncomingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_STB"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsSent"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_STB_OutgoingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter"/>

```

```

<rdfs:subClassOf>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
    <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsRecieved"/>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter_IncomingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

<!-- http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic -->
<owl:Class rdf:about="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/CableTVNetwork_NetworkRouter"/>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/sameAs"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource="http://127.0.0.1/tnmo/OctetsSent"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:label>tnmo:CableTVNetwork_NetworkRouter_OutgoingTraffic</rdfs:label>
</owl:Class>

```

Полная версия расширенной в соответствии с представленным примером онтологии *TNMO* доступна в открытом репозитории *GitHub* [30].

## Заключение

В работе предложен новый алгоритм, позволяющий подключить сеть оператора ТС, структура которой описана без использования онтологической модели, к облачной платформе мониторинга. Рассматриваемая облачная платформа мониторинга использует ГЗ в качестве структурной модели ТС, при этом элементы модели описаны в соответствии с многоуровневой онтологией, предполагающей использование ряда общих онтологий, онтологий ТС доменного уровня, таких как *TSDO* и *ToCo*, а также онтологии уровня приложения, в качестве которой выбрана онтология *TNMO*. Интеграция новой модели сети оператора происходит за счёт сопоставления её элементов с классами доменной онтологии и за счёт расширения онтологии *TNMO*. Представлен пример подключения нового сегмента сети оператора к облачной платформе мониторинга для сегмента сети оператора кабельного телевидения.

## Список источников

- [1] *Stallings W.* SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management, Second Edition. Addison-Wesley Professional Computing and Engineering 1996. 478 p.
- [2] *Cottrell L.* Network Monitoring Tools. SCAL. <http://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html>.
- [3] *Kulikov I., Wohlgenannt G., Shichkina Y., Zhukova N.* An Analytical Computing Infrastructure for Monitoring Dynamic Networks Based on Knowledge Graphs. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12254. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-58817-5\_15.
- [4] *Krinkin K., Kulikov I., Vodyaho A., Zhukova N.* Architecture of a Telecommunications Network Monitoring System Based on a Knowledge Graph. 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Yaroslavl, Russia, 2020, p.231-239. DOI: 10.23919/FRUCT48808.2020.9087429.
- [5] *Kulikov I., Vodyaho A., Stankova E., Zhukova N.* Ontology for Knowledge Graphs of Telecommunication Network Monitoring Systems. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12956. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-87010-2\_32.
- [6] *Krinkin K., Kulikov I., Vodyaho A., Zhukova N.* Architecture of Cloud Telecommunication Network Monitoring Platform Based on Knowledge Graphs. 30th Conference of Open Innovations Association FRUCT, 2021, p.107-114. DOI:10.23919/FRUCT53335.2021.9599995.

- [7] **Villalonga C., Strohbach M., Snoeck N., Sutterer M., Belaunde M., Kovacs E., Zhdanova A.V., Goix L.W., Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [8] **Fensel D.** Ontology-based knowledge management. *Computer*, 35(11): 56–59, 2002.
- [9] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6): 625–640, 1995.
- [10] **Sure Y., Studer R.** A methodology for ontology-based knowledge management. Towards the semantic web: Ontology-driven knowledge management, 2003. p.33–46,
- [11] **Noy N.F., Crub'ezy M., Fergerson R.W., Knublauch H., Tu S.W., Vendetti J., Musen M.A.** Protege-2000: an open-source ontology-development and knowledge-acquisition environment. In AMIA Annual Symposium Proc., 2003. vol. 953.
- [12] **Barcelos P.P.F., Monteiro M.E, Simões R. de M, Garcia A.S., Segatto M.EV.** OOTN - an ontology proposal for optical transport networks. In IEEE ICUMT, 2009, p.1–7.
- [13] **Niles I., Pease A.** Towards a standard upper ontology. In ACM FOIS, 2001, p.2–9.
- [14] **Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O.** The semantic web. *Scientific american*, 2001; 284(5): 28–37.
- [15] **Bizer C., Heath T., Idehen K., Berners-Lee T.** Linked data on the web. In ACM World Wide Web, 2008. p.1265–1266.
- [16] **Vergara J.L., Guerrero A., Villagr'a V., Berrocal J.** Ontology-based network management: study cases and lessons learned. *Journal of Network and Systems Management*, 2009; 17(3): 234–254.
- [17] **Buitelaar P., Cimiano P., Magnini B.** Ontology learning from text: methods, evaluation and applications. IOS press, volume 123. 2005. 180 p.
- [18] **Niskanen I., Kantorovitch J.** Ontology driven data mining and information visualization for the networked home. Fourth International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2010. P.147–156.
- [19] **Qianru Zhou.** Ontology-driven knowledge based autonomic management for telecommunication networks: theory, implementation, and applications. Heriot-Watt University, 2018.
- [20] **Jeroen Johannes van der Ham.** A semantic model for complex computer networks. The network description language, vol.3. Citeseer, 2010.
- [21] **Xiuquan Qiao, Xiaofeng Li and Junliang Chen.** Telecommunications Service Domain Ontology: Semantic Interoperation Foundation of Intelligent Integrated Services. Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, Jesus Hamilton Ortiz, IntechOpen, 2012. DOI:10.5772/36794.
- [22] OWL-S. Официальный сайт: <https://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.
- [23] **Qiao Xiuquan, Li Xiaofeng, Fensel Anna and Su Fang.** Applying semantics to Parlay-based services for telecommunication and Internet networks. *Open Computer Science*, vol.1, no.4, 2011, p.406-429. DOI:10.2478/s13537-011-0029-6.
- [24] **Cleary D., Danev B., O'Donoghue D.** Using ontologies to simplify wireless network configuration. In FOMI, 2005. 16 p. <https://www.cs.nuim.ie/~dod/pubs/05-fomi.pdf>.
- [25] **Villalonga C., Strohbach M., Snoeck N., Sutterer M., Belaunde M., Kovacs E., Zhdanova A.V., Goix L.W., Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [26] **Uzun A., Kupper A.** Openmobilenetwork: extending the web of data by a dataset for mobile networks and devices. In ACM ICSS, 2012. P.17–24.
- [27] **Zhou Q., Gray A.J.G., McLaughlin S.** ToCo: An Ontology for Representing Hybrid Telecommunication Networks. In: Hitzler P. et al. (eds) The Semantic Web. ESWC 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol.11503. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-21348-0\_33.
- [28] SPARQL Query Language for RDF. Официальный сайт: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- [29] **Petasis G., Karkaletsis V., Paliouras G., Krithara A., Zavitsanos E.** Ontology Population and Enrichment: State of the Art. In: Paliouras G., Spyropoulos C.D., Tsatsaronis G. (eds) Knowledge-Driven Multimedia Information Extraction and Ontology Evolution. Lecture Notes in Computer Science, vol.6050. 2011. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-20795-2\_6.
- [30] GitHub repository. Официальный сайт: [https://github.com/kulikovia/TNMO\\_Extended](https://github.com/kulikovia/TNMO_Extended).

## Сведения об авторах



**Куликов Игорь Александрович**, 1973 г. рождения. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения (ЛИАП) в 1996 г. Соискатель кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ) Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ). В списке научных трудов 14 работ в области искусственного интеллекта и графов знаний. SPIN-код (РИНЦ): 1194-5284; Author ID (Scopus): 57216869871; Researcher ID (WoS): AAE-9550-2021. [i.a.kulikov@gmail.com](mailto:i.a.kulikov@gmail.com). ✉.

**Жукова Наталья Александровна**, 1983 г. рождения. Окончила в 2006 году Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». К.т.н. (2008). Менеджер проектов в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук, доцент в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В списке научных трудов 75 работ в области адаптивных процессов измерений, интеллектуальных методов и алгоритмов для анализа и оценки данных, технологии синтеза информации и знаний, обработки больших данных. SPIN-код (РИНЦ): 1205-4956; Author ID (Scopus): 56406142300; Researcher ID (WoS): K-9143-2018. [nazhukova@mail.ru](mailto:nazhukova@mail.ru).



Поступила в редакцию 27.07.2022, после рецензирования 01.08.2022. Принята к публикации 31.08.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366

# Integration of telecommunication networks in monitoring system using domain ontologies

© 2022, I.A. Kulikov<sup>1</sup>✉, N.A. Zhukova<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg, Russia

## Abstract

This paper discusses the problems of designing cloud-based telecommunication network monitoring systems based on the construction and application of models of such networks in the form of knowledge graphs. The proposed monitoring systems combine the functions of systems used by various telecommunications network operators. The considered design approach involves the use of a number of common ontologies and domain-level ontologies, such as the telecommunications services domain ontology (TSDO) and the hybrid telecommunications network (ToCo) ontology. To take into account the specifics of networks and operators in the developed monitoring system, an extension of the domain ontology is provided. The article considers the case of combining telecommunication networks built on the basis of different domain-level ontologies or without using an ontological model, by adding new ontologies, within the framework of one monitoring system. To automate the design process, an algorithm for comparing classes of domain ontologies with components of telecommunication network models is proposed. The application of the proposed approach is shown on the example of the problem of adding a new network segment to the monitoring system of a cable television operator.

**Key words:** ontology, knowledge graph, telecommunications network, monitoring system, domain, cable television.

**For citation:** Kulikov IA, Zhukova NA. Integration of telecommunication networks in monitoring system using domain ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 353-366. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-353-366.

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

## List of figures and table

- Figure 1 - Logical scheme of integration of the operator's network, built without the use of TN ontological model into cloud monitoring platform
- Figure 2 - Generalized information model of an element of the operator's network, built without an ontological model
- Figure 3 - Integration of an operator network element at the ontology level for the case with a monitoring event - monitoring of a network element parameter
- Figure 4 - Algorithm for matching ontology classes with TN elements
- Table 1 - Operator network element types and their attributes

## References

- [1] *Stallings W.* SNMP, SNMPv2, and RMON: Practical Network Management, Second Edition. Addison-Wesley Professional Computing and Engineering 1996. 478 p.
- [2] *Cottrell Les.* Network Monitoring Tools. SCAL. <http://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html>. [Last update: Mar. 20, 2012].
- [3] *Kulikov I, Wohlgenannt G, Shichkina Y, Zhukova N.* An Analytical Computing Infrastructure for Monitoring Dynamic Networks Based on Knowledge Graphs. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol.12254. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-58817-5\_15.
- [4] *Krinkin K, Kulikov I, Vodyaho A, Zhukova N.* Architecture of a Telecommunications Network Monitoring System Based on a Knowledge Graph. 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Yaroslavl, Russia, 2020, p.231-239, DOI: 10.23919/FRUCT48808.2020.9087429.
- [5] *Kulikov I, Vodyaho A, Stankova E, Zhukova N.* Ontology for Knowledge Graphs of Telecommunication Network Monitoring Systems. In: Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol.12956. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-87010-2\_32.
- [6] *Krinkin K, Kulikov I, Vodyaho A, Zhukova N.* Architecture of Cloud Telecommunication Network Monitoring Platform Based on Knowledge Graphs. 30th Conference of Open Innovations Association FRUCT, 2021, p.107-114, DOI: 10.23919/FRUCT53335.2021.9599995.
- [7] *Villalonga C, Strohbach M, Snoeck N, Sutterer M, Belaunde M, Kovacs E, Zhdanova AV, Goix LW, Droegehorn O.* Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [8] *Fensel D.* Ontology-based knowledge management. *Computer*, 35(11):56–59, 2002.
- [9] *Guarino N.* Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International journal of human-computer studies*, 43(5-6): 625–640, 1995.
- [10] *Sure Y, Studer R.* A methodology for ontology-based knowledge management. Towards the semantic web: Ontology-driven knowledge management, 2003. p.33–46,
- [11] *Noy NF, Crub'ezy M, Fergerson RW, Knublauch H, Tu SW, Vendetti J, Musen MA.* Protege-2000: an open-source ontology-development and knowledge-acquisition environment. In AMIA Annual Symposium Proc., 2003:953.
- [12] *Barcelos PPF, Monteiro ME, Simões R. de M, Garcia AS, Segatto MEV.* OOTN - an ontology proposal for optical transport networks. In IEEE ICUMT, 2009, p.1–7.
- [13] *Niles I, Pease A.* Towards a standard upper ontology. In ACM FOIS, 2001, p.2–9.
- [14] *Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O.* The semantic web. *Scientific american*, 2001; 284(5): 28–37.
- [15] *Bizer C, Heath T, Idehen K, Berners-Lee T.* Linked data on the web. In ACM World Wide Web, 2008. p.1265–1266.
- [16] *Jorge E L'opez De Vergara, Antonio Guerrero, V'ictor A Villagr'a, Julio Berrocal.* Ontology-based network management: study cases and lessons learned. *Journal of Network and Systems Management*, 2009; 17(3):234–254.
- [17] *Buitelaar P, Cimiano P, Magnini B.* Ontology learning from text: methods, evaluation and applications. IOS press, 2005: 123.
- [18] *Niskanen I, Kantorovitch J.* Ontology driven data mining and information visualization for the networked home. Fourth International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2010. P.147–156.
- [19] *Qianru Zhou.* Ontology-driven knowledge based autonomic management for telecommunication networks: theory, implementation, and applications. Heriot-Watt University, 2018.
- [20] *Jeroen Johannes van der Ham.* A semantic model for complex computer networks. The network description language, vol.3. Citeseer, 2010.

- [21] **Xiuquan Qiao, Xiaofeng Li and Junliang Chen.** Telecommunications Service Domain Ontology: Semantic Interoperation Foundation of Intelligent Integrated Services. Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, Jesus Hamilton Ortiz, IntechOpen, DOI:10.5772/36794.
- [22] OWL-S. <https://www.w3.org/Submission/OWL-S/>.
- [23] **Qiao, Xiuquan, Li, Xiaofeng, Fensel, Anna and Su, Fang.** "Applying semantics to Parlay-based services for telecommunication and Internet networks" Open Computer Science, vol. 1, no. 4, 2011, pp. 406-429. <https://doi.org/10.2478/s13537-011-0029-6>
- [24] **Clery D, Danev B, O'Donoghue D.** Using ontologies to simplify wireless network configuration. In FOMI, 2005. 16 p. <https://www.cs.nuim.ie/~dod/pubs/05-fomi.pdf>.
- [25] **Villalonga C, Strohschach M, Snoeck N, Sutterer M, Belaunde M, Kovacs E, Zhdanova AV, Goix LW, Droegehorn O.** Mobile ontology: Towards a standardized semantic model for the mobile domain. In International Conference on Service-Oriented Computing, Springer, 2007. p.248–257.
- [26] **Uzun A, Kupper A.** Openmobilenetwork: extending the web of data by a dataset for mobile networks and devices. In ACM ICSS, 2012. P.17–24.
- [27] **Zhou Q, Gray AJG, McLaughlin S.** ToCo: An Ontology for Representing Hybrid Telecommunication Networks. In: Hitzler P. et al. (eds) The Semantic Web. ESWC 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol.11503. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-21348-0\_33.
- [28] SPARQL Query Language for RDF. <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- [29] **Petasis G, Karkaletsis V, Paliouras G, Krithara A, Zavitsanos E.** Ontology Population and Enrichment: State of the Art. In: Paliouras G, Spyropoulos CD, Tsatsaronis G. (eds) Knowledge-Driven Multimedia Information Extraction and Ontology Evolution. Lecture Notes in Computer Science, vol.6050. 2011. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-20795-2\_6.
- [30] GitHub repository: [https://github.com/kulikovia/TNMO\\_Extended](https://github.com/kulikovia/TNMO_Extended).
- 

## About the authors

**Igor Aleksandrovich Kulikov** (b. 1973) graduated from the Leningrad Institute of Aviation Instrumentation (Leningrad, USSR) in 1996. He is a PhD student at the Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia. He is a co-author of 14 scientific articles in the field of AI and Knowledge graphs. Author ID (RSCI): 1194-5284; Author ID (Scopus): 57216869871; Researcher ID (WoS): AAE-9550-2021. [i.a.kulikov@gmail.com](mailto:i.a.kulikov@gmail.com). ✉.

**Nataly Alexandrovna Zhukova** (b. 1983) graduated from the Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI" in 2006. PhD in technical sciences from 2008. Project Manager at St. Petersburg Institute of Informatics and Automation Russian Academy of Sciences (SPIIRAN), Associate Professor at the Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI". She is a co-author of 75 papers in the field of adaptive measurement processes, intelligent methods and algorithms for data analysis and evaluation, information and knowledge synthesis technology, and big data processing. SPIN code (RSCI): 1205-4956; Author ID (Scopus): 56406142300; Researcher ID (WoS): K-9143-2018. [nazhukova@mail.ru](mailto:nazhukova@mail.ru).

---

Received July 27, 2022. Revised August 1, 2022. Accepted August 31, 2022.

---

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-367-379

### A Goals Cascading Methodology in Project-oriented Company

© 2022, N.O. Nikulina<sup>1,2</sup>✉, A.I. Malakhova<sup>3</sup>, V.I. Batalova<sup>4</sup>, O.V. Barmina<sup>5</sup>

<sup>1</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Scientific Research Institute «Voskhod», Moscow, Russia

<sup>3</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

<sup>4</sup> SberHealth company, Ufa, Russia

<sup>5</sup> RingCentral, London, UK

#### Abstract

One of the most effective tools for managing a project-oriented company are the key performance indicators – quantitative indicators that allow to measure the degree of company's activities success through definition of strategic goals. In a project-oriented company, activities are implemented within projects execution. At the same time, each project has a set of parameters that characterize, on the one hand, the progress of the project (terms and cost of implementation, qualification of performers, frequency of changes in requirements), and, on the other hand – the final product (functionality, performance, usability and maintenance). It should be noted that a success of project implementation depends not least on the built in the company interaction processes, which make it possible to make decisions effectively to achieve the project goals. Visualization of the goals relations on the strategic map significantly facilitates the employees interacting at various levels and making management decisions in problem situations. Building a strategic map based on a balanced scorecard implies appointment of persons, responsible for achieving the target values of indicators, entering the correct values and monitoring the projects and its constituent processes implementation. This allows forming a project participants responsibility matrix, which, in turn, helps to determine a degree of performers workload when the processes execution, related to various knowledge areas. The authors' proposed method of cascading goals in a project-oriented company will allow building a project management system taking into account various factors affecting the success of its implementation. Cascading is based on building a hierarchy of a project-oriented company performance indicators in accordance with the hierarchy of projects of various types and scales. Using this approach contributes to improving the quality of a project-oriented organization strategic management due to the fact that strategic goals and its corresponding indicators are consistently decomposed to the level of tactical and operational management, and then concretized and adapted in structural divisions. A novelty of the proposed cascading technique lies in development of the projects hierarchy in terms of its implementation priority, as well as in use of project management knowledge areas in the company's strategic map.

**Key words:** *project-oriented company, strategic map, balanced scorecard, cascading goals, decision-making, key performance indicators (KPI), knowledge areas, project management.*

**For citation:** *Nikulina NO, Malakhova AI, Batalova VI, Barmina OV. A Goals Cascading Methodology in Project-oriented Company. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 367-379. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-367-379.*

**Acknowledgment:** We express our deep gratitude to Professor Liliya Rashitovna Chernyakhovskaya for the help in conducting the research, to the members of the Editorial Board who made comments and recommendations for improving this manual.

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

## Introduction

Decision-making is one of the most important management mechanisms that ensures the choice of how to achieve goals. According to the planning horizon, goals can be divided into short-term goals (its achievement is provided by making operational decisions and its subsequent realization), medium-term goals (its achievement is usually guaranteed by making tactical decisions) and long-term goals (provided by strategic decision-making). This separation helps to understand better the roles, tasks, and features of management activity at each level.

*Strategic decisions* are made by the company's management in the event of global problems, a sign of which is deviation of the key performance indicators from the planned ones due to such changes in the external environment that affect the industry, national or global economy. Such problems require a thorough diagnostics and analysis of the internal and external environment factors and elaboration of a further strategy.

*Tactical problems* are the mid-level problems, that represent contradictions between the medium-term goals of the company and its current state, and usually affect several functional departments. Such problems are solved by adjusting the strategy, developing tactical plans within the framework of the current strategy, or making minor changes to it. Decisions are made collectively at the level of the heads of functional departments with notification of the company's management.

*Operational problems* are problems that arise within individual functional departments. A frequency of such problems is significantly higher than tactical and global ones, and it requires making operational decisions in a limited time. Heads of functional departments and direct executors can make large number of such decisions in one day.

The problems of types above are closely interrelated. Delay or error in decision-making negatively affects adjacent areas of activity. If all employees of the company clearly understand this relationship, and are also aware of how their activities affect the achievement of goals at various levels, it can be stated with great confidence that organizational interaction has been established in this company. A lot of research has been devoted to interaction organization in companies in order to increase the efficiency of their activities. People are not robots, everyone has their own psychological characteristics that affect the work in a team. A task of the good leader is to take into account personal and professional characteristics of each employee when forming a project team, and in the course of problems to understand what is causing them. The [1] provides general recommendations for managing large software projects, including the distribution of roles in project teams. In [2], the authors proposed a methodology for assessing the contribution of each project team member to achieving the goals of IT project. This article is continuing the study, in which the authors draw attention to the relationships between decision-making levels and performance targets for individual performers, project teams and the company as a whole.

## 1 Decision-making specificity within the project activity organization in IT company

The issues of decision-making at different hierarchical levels are considered on the example of IT company, specializing in service maintenance of large manufacturing enterprises. Its main activity areas are system integration, technological processes automation, development and implementation of information systems, creation of complex infrastructure and unified information field for the customer. The work mainly has a project nature: the contracts are concluded and extended for development, modification, implementation, and support of information systems functionality. The same project employs specialists from different departments, which is due to the presence of a matrix organizational structure of the company's management. Employees are combined in project teams, where they implement certain roles according to the accepted development methodology. For the most part, project teams use Agile development methodologies [3], most often Scrum [4].

Following this methodology allows to provide the customer a workable product with new business opportunities, for which the highest priority is determined, for a fixed small time intervals, called sprints.

In accordance with the Scrum methodology, the following roles are defined in the project team:

a) *Product Owner* is responsible for the list of product requirements and the result of the team's work;

b) *Scrum Master* is responsible for organizing an effective development process;

c) *Development Team* is a cross-functional team of universal interchangeable developers. In practice the following functional responsibilities are distinguished: analyst; architect of the system; programmer; tester; database specialist; technical writer; expert.

Since the matrix organizational structure supposes involving the employees from the same functional units in different projects in different roles, it is inevitable that projects will struggle to allocate all types of resources, including labor. A process of resources distribution begins while project initiation as contracts on providing the IT services are concluded, and also repeats during the project implementation in case of a lack of resources. At the same time, since several projects are running simultaneously, it is necessary to answer the question: “Which of the projects has priority, taking into account all the specified restrictions?” This question is solved by the deputy head of the company – the head of the software development department, who oversees the implementation of all the company's projects.

A scheme of interaction between the parties within allocation of resources between projects is as follows (figure 1). At the beginning of the financial year conclusion of contracts with customers for providing IT services is initiated). A head of the department requests data on the current state of affairs from project managers (product owners from each Scrum team). Often this can be an informal request, and the response is not documented anywhere.

Product owner, in turn, asks the performers for the specific details, collecting the most complete view of the project as a whole and of the main business tasks, making clarifying requests to individual members of the development team. The team can only provide data on the completed functionality (a completeness of the project backlog, that is, the general list of functionality to be realized) from the task control and code versions system. The aggregated data is collected by the product owner in the infographic and is sent to the head of the department.

The head of the department, based on expert assessment, allocates resources to the projects. According to the made decisions is formed a document called “Calculation of the contract value”, in which the details of labor and material resources distribution for the each of the project stages is specified. The document is passed to the customer and brought to the project managers, who plan the works for each of the project teams according to the specified deadlines.

Collected data provides information about the amount of work that the team has completed by a certain deadline, but it does not provide understanding the reasons of deviation from the project plan, although it is exactly the delays from the plan, that motivates the product owner to request additional resources. Therefore, it is necessary to understand why the actual state of the project affairs is worse than the planned parameters. This requires a more detailed analysis of the reasons – a research process is started, which generates stress in the project team and distracts from the development process as a whole. So trying to understand why there are not enough project resources leads to an even greater delays from the plan.

The fact is that neither the team as a whole, nor the head of the department, has understanding why the project is lagging behind the plan and what the real reason is. Even if some members of the project team or the head of the department have such understanding, it is difficult to capture this knowledge for effective use in the future. Therefore, the head of the department, based on his own expert assessment, distributes and redistributes resources for projects.

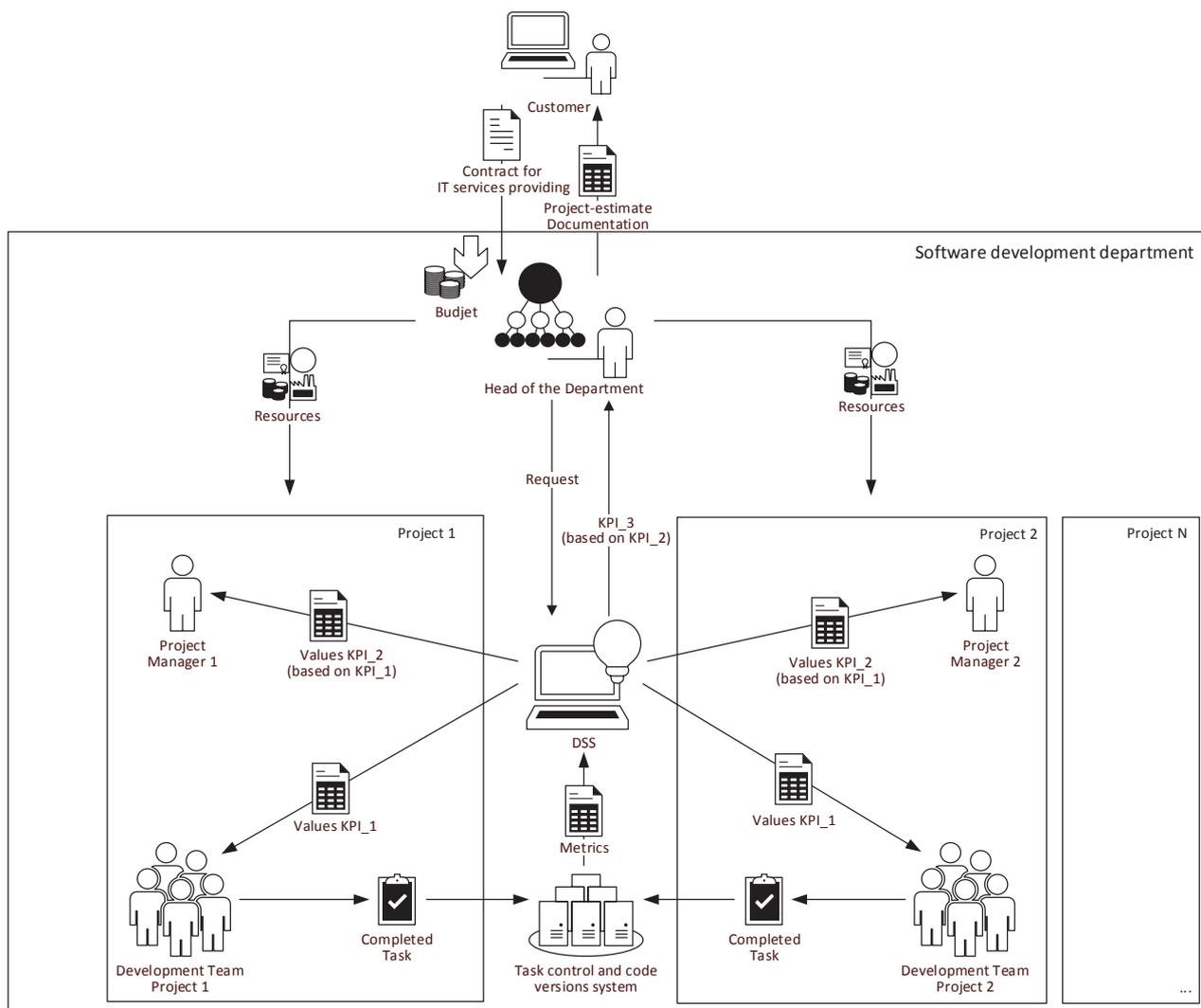


Figure 1 – A scheme of the projects resources distribution process

Thus, the process of resources distribution between parallel projects can be not only lengthy, but also difficult to assess objectively and involves solving the large amount of tasks in conditions of uncertainty. The head of the department does not have concrete data to make certain conclusions, and even if the data is provided from the lower levels – they may be too optimistic or corrected.

The problem of data fragmentation and inaccuracy can be solved by using ontological engineering technologies [5-7]. But first of all, it is necessary to design and carefully configure a balanced scorecard for the whole company and for the each project separately, in order to have an opportunity to make comparative analysis of achieving the planned goals in projects, competing to access the resources.

## 2 Connection of the project management and the organization strategic maps

A balanced scorecard building is usually carried out for typical business processes of the company and is developed for a long-term period, taking into account the stability of the process [8]. However, modern business processes are becoming more dynamic, individual, configurable, and

projects, on the contrary, are becoming more typical, have iterations by analogy with the business process [9].

In the context of the company's project-oriented activity, organization of collective decision-making support is relevant [10-11]. One of the most important stages here is to identify interacting projects and prioritize them in case of conflicts over the allocated resources [12] (see figure 1).

In accordance with his competence, the product owner tries to plan each sprint taking into account mentioned above goals and stages of the works, and strategy, agreed with the head of the department. However, the sprint lasts not more than 2 weeks. During this short period, it is rarely possible to fully implement the stage with the stated goal. Therefore, large blocks of tasks are needed to be planned for the future with braking down by sprints, and at each of the planning procedures it should not be forgotten about the plan. But, if these plans are not fixed anywhere, then the project team is not informed about it. Consequently, employees do not have an understanding of the ultimate goal, as well as an importance of their role in the project in which they participate in the context of the entire company strategy.

In general, the final decision is very subjective – the direct project executors do not participate in the planning process, although they can better understand what the project needs at this stage, what points can be improved, how to objectively assess the time and labor costs for specific tasks. Difficulties also arise with evaluation of made decisions results – it is impossible to determine how the planned actions affected the project – positively, neutrally or negatively. This kind of knowledge in the field of project task planning remains only in the memory of a particular person.

However, the difficulty in this case is in the method of detecting the lack of the resources on any of the parallel projects, as well as in determining the impact of this factor on the target indicators of these projects, as well as on the targets of the company as a whole. Therefore, it is proposed to record in the ontological knowledge base of decision support system the current and planned values of project indicators and the responsibility matrix, taking into account the employees project roles.

Accumulation of such data in the form of decision-making cases will provide more clear information for analysis and subsequent decision-making. Steady repetition of cases leads to formation of the decision-making rules, so basing the experience of previous years, it will be possible to make certain conclusions – to form new rules on the base of cases intellectual analysis for supporting decision-making.

For example, for the project “Development of new software products” some of the following cases are recorded in the ontological knowledge base:

**Case-1:** *Development\_of\_new\_software\_products(?x), Defect\_correction\_time(?y), has\_indicator(?x,?y) -> has\_planned\_value\_in\_percent(?y, lessThan 20).*

**Case-2:** *Development\_of\_new\_software\_products(?x), Defect\_correction\_time(?y), has\_indicator(?x,?y) -> has\_actual\_value\_in\_percent(?y, 30).*

**Case-3:** *Development\_of\_new\_software\_products(?x), Employee(?y), has\_participant(?x,?y) has\_qualification(?y, “high”), has\_work\_experience\_with\_the\_customer(?y, min), Lagging\_behind\_the\_plan\_indicator\_values (?z), has(?x,?z) -> has\_cause(?z,?y).*

On the base of these cases intellectual analysis it could be formed in time the certain rules:

**Rule-1:** *Development\_of\_new\_software\_products(?x), Employee(?y), has\_qualification(?y, “high”), has\_work\_experience\_with\_the\_customer(?y, max) -> to\_make\_participant(?x,?y).*

**Rule-2:** *Development\_of\_new\_software\_products(?x), Employee(?y), has\_qualification(?y, “high”), has\_work\_experience\_with\_the\_customer(?y, min), to\_make\_participant(?x,?y), Action(?z), has(?x,?z) -> has(?z, “Increase\_the\_probationary\_period\_of\_new\_employees).*

These rules show, that during the allocation of resources for the projects of new software products development it would be the best decision for the head of the department to involve participants that have not only high qualification for executing the project tasks, but also the work experience with the particular customer.

Cascading of goals is proposed to be performed in accordance with the following algorithm. For convenient perception cascading of goals was performed for the one of the IT company activities – “Development of new software products”. To apply the proposed methodology in practice it is necessary to have a software tool for building a strategic map according to the BSC methodology (in this study Business Studio was used), an ontology editor for building a knowledge base and a project management system, in which the main project parameters and tasks are fixed and presented hierarchically.

The following goals cascading methodology for the direction “Development of new software products” is proposed:

1) identify as a top-level goal (long-term, strategic goal) a project balance support as a whole and the corresponding KPI “Project balance”;

2) identify as sources for med-level goals (medium-term, tactical) project constraints: project content (Scope), schedule or deadlines (Schedule) and cost (Budget). Ultimately, changes in the time, cost, and content affect the project product quality (Quality, QI). In addition, project product quality is affected by such restrictions as risks (Rs), resources (Kc), communication (Cm). So a project is: Project = <Sc, Sh, Bd, QI, Rs, Kc, Cm> [13]. Tactical goals, or rather its KPIs, serve as the information sources for project managers/product owners (on Scrum [14]);

3) identify the goals of the project team as the lower-level goals in accordance with the terminology of the development methodology adopted in the company. The indicators will, in one way or another, provide information about the same types of activities, but the difference in terminology may confuse the reader. Here we will rely on the terms of Scrum methodology [3]. As a lower level, the indicators of a software project management effectiveness, grouped by knowledge areas, are selected [13, 15]. As a result a hierarchy of project-based consulting company goals is obtained, presented in the form of the balanced scorecard strategy map (figure 2).

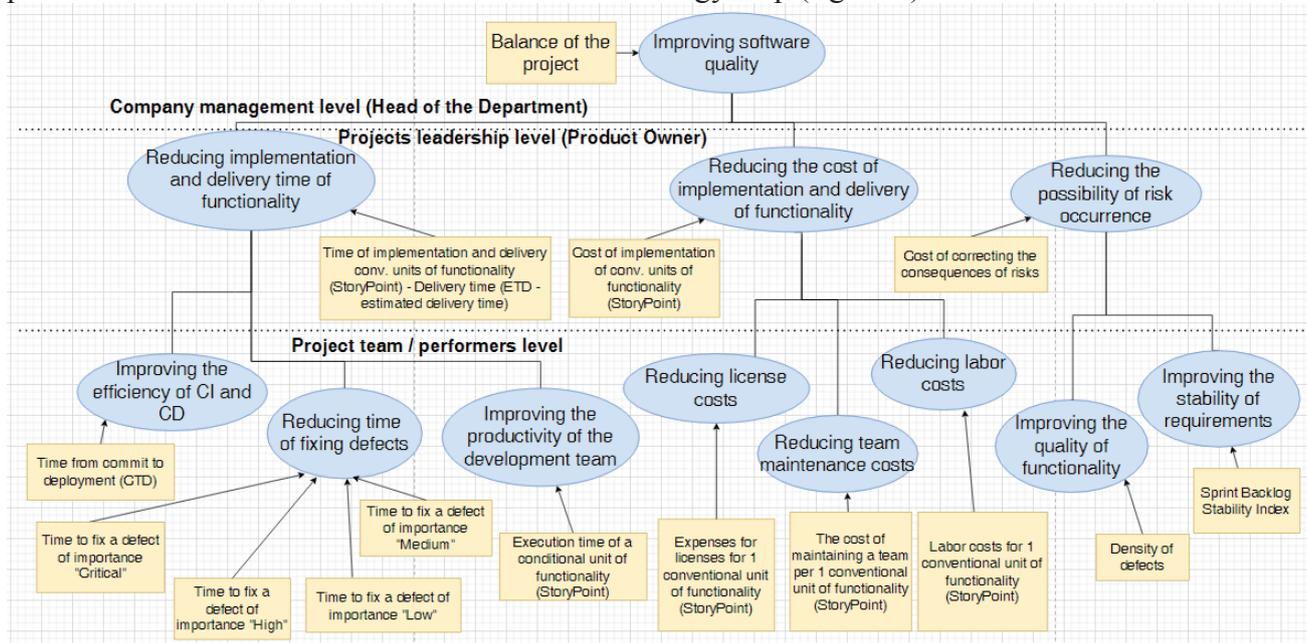


Figure 2 – Balanced scorecard strategic map for the software quality improvement

This figure shows a fragment of the IT company activities strategic map for development of new software products, which focuses on achieving the goal “Reducing implementation and delivery time of functionality”. A strategic map is a hierarchy of goals (represented as ovals) and related indicators of its achievement (represented as rectangles). A complete strategic map for the considered direction is given in [2].

4) Strategic management is closely linked with the strategic map of the company and the strategic initiatives that are the set of independent additional projects and programs with defined deadlines, implemented outside the daily organization activities, whose purpose – to help the company achieve the targeted results;

5) compare the KPI with the functional hierarchical work structure for a typical sprint in a software/module development or implementation project. Each KPI is associated not only with a goal, but also with the particular works that allow it to be achieved (table 1). The hierarchy of tasks for developing a software product is determined by the methodology used in the company, for example, in [2] a hierarchical structure of works is used in accordance with PMBoK [13]. Thus, we will get information about what KPIs the project team is striving for at a particular working stage;

6) create a responsibility matrix for the project participants, defining the roles of each of them at each stage. Each project participant can perform different roles at different stages:

- R (responsible) – is fully responsible for the stage/task execution, has a right to make decisions on implementation method;
- E (executor) – executes a task, is not responsible for the method’s choice for it solving, but is responsible for the quality and deadlines;
- C (consultant) – provides consulting services while the project tasks solving;
- O (observer) – can consult while the project tasks solving, is not responsible for the result.

Metrics of the works execution processes will be recorded and transmitted to the decision support system (DSS), which will calculate KPIs at all levels and analyze a possibility of forming rules from used cases [16]. For the correct rules generation, it is also necessary to fix in the DSS responsibility matrix for typical project tasks. Work stages are distributed among the project participants in accordance with their roles (table 1). According to the structure of goals and KPIs, laid down in the system, a related KPI for each of the work stages is indicated. Table 2 contains the mid-level KPIs, achievement of which depends on the work of the project development team (lower-level KPIs). The output data will be the KPI values of each of the hierarchy levels with the possibility of descending to a lower level, up to individual metrics. It should be noted, that in table 1 the certain work stage is highlighted and in table 2 the most important corresponding KPIs, for which the project team members are responsible, is presented.

Table 1 – Project Responsibility Matrix

Element of WBS (Work Breakdown Structure)	Participants (concrete employees)							
	Product Owner	Product Development Team						
		Analyst	Architect of the system	Programmer	Basist	Tester	Expert	Scrum Master
Requirements collection and development of technical specification (TS)	C	R	C	O	O	–	O	C
Design	–	E	R	C	C	–	O	C
<b>Prototype deployment</b>	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>C</b>	<b>E, R</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>C</b>
Pilot operation	C	C	C	E, R	E	E	–	C
System deployment	C	E	C	E, R	E	E	–	C
System commissioning	C	R	O	O	–	E	–	C
Project completion	R	C	–	–	–	–	–	C

Table 2 – Compliance of the mid-level KPIs and those responsible for its achieving

KPI	Participants (concrete employees)							
	Product Owner	Product Development Team						
		Analyst	Architect of the system	Programmer	Basist	Tester	Expert	Scrum Master
Requirements stability index	+	+						+
Proportion of functional improvements by the reason of changed/new requirements	+	+						+
Duration of collective work		+	+	+	+			+
Stakeholders engagement	+	+	+					+
Number of missed requirements	+	+	+					+
Burning time	+		+	+	+	+		+
Accuracy of task evaluation	+		+	+	+	+		+
Level of activities timeliness	+		+	+	+	+		+
Defects density	+	+				+		+
Technical debt ratio	+	+				+		+
Number of tasks that team can perform per a time unit								+
<i>Average speed</i>	+	+	+	+	+	+		+
<i>Project ETD (estimated time of delivery)</i>	+	+	+	+	+	+		+
<i>Impact of difficulties</i>	+	+	+	+	+	+		+
<i>Average cost of defect correcting</i>	+	+	+	+	+	+		+

During the methodology developing process the algorithms for calculating the main KPIs for the goals of the middle level “Reducing the functionality delivery realization time” and “Reducing the implementation and functionality delivery cost” (see figure 2) were derived (table 3). For the calculating purposes as a conventional functionality unit was taken a StoryPoint. Backlog items are measured in StoryPoints depending on its complexity.

On the base of the KPI of the lower level, it is possible to calculate the KPI of the upper level.

For example, realization and delivery time of conventional functionality unit (StoryPoint) will be calculated using the formula:

$$ETD = CTD + Weighted\ average\ (Sum\ (t_{critical} + t_{high} + t_{low} + t_{middle})) \tag{1}$$

When having data on the dynamics of the KPI of each of the projects and established for them responsibility matrices, that is, data on the participant workload (a concrete employee), we can get information about the success of resource distribution between the projects. Accumulation of such information helps to make more effective decisions based on the obtained experience [17-20], and also allows to adjust the course of project development in time.

Table 3 – KPIs Calculating Algorithms for the Multiple Mid-level Goals

KPI	Calculating Algorithm
Time from commit to deployment (CTD – Commit To Deployment)	$CTD$ = Date and time of the release installation on the customer's servers – Date and time of the first commit in TFS, related to the functionality
Time to fix a defect of importance "Critical"	$t_{critical}$ = Fixed date and time of the defect with importance "Critical" in TFS – Date and time of converting the defect to the status "Done"
Time to fix a defect of importance "High"	$t_{high}$ = Fixed date and time of the defect with importance "High" in TFS – Date and time of converting the defect to the status "Done"
Time to fix a defect of importance "Low"	$t_{low}$ = Fixed date and time of the defect with importance "Low" in TFS – Date and time of converting the defect to the status "Done"
Time to fix a defect of importance "Middle"	$t_{middle}$ = Fixed date and time of the defect with importance "Middle" in TFS – Date and time of converting the defect to the status "Done"
Implementing time of conventional functionality unit (StoryPoint)	$t_{SP\_done}$ = Average (Sum (Fixed date and time of the Backlog item in TFS – Date and time of converting the Backlog item to the status "Done") / Number of StoryPoints))
Expenses for licenses for 1 conventional unit of functionality (StoryPoint) (StoryPoint)	$S_L$ = License expense for the period / Number of StoryPoints functionality, completed during the period
The cost of maintaining a team per 1 conventional unit of functionality (Story Point)	$S_T$ = Team maintenance costs for the period / Number of StoryPoints functionality, completed during the period
Labor costs for 1 conventional unit of functionality (StoryPoint)	$S_C$ = Number of working hours for the period * Total rates of the all project team employees / Number of StoryPoints functionality, completed during the period

### Conclusion

Quality is the most important characteristic of the project product. Customer expects to get the best result from the executor within the existing restrictions. In developing and maintaining of large software complexes, it is necessary to have metrics for monitoring the status of the project and a flexible system for periodic planning of control actions in order to keep a given level of quality. Proposed by the authors goals cascading methodology makes it possible to link the goals, set for the each participant of the project team, with the goals of the project and the company as a whole. It helps to identify the relationship between the deterioration of any kind of indicator and a cause of this phenomenon, since the values of the lower-level KPIs affect the values of the upper-level management KPIs.

In this case, timely tracking of the project status metrics deviation from the specified parameters allows:

- 1) to provide monitoring a current status of projects, running in parallel;
- 2) to determine a degree of individual employees responsibility for changing the project indicators;
- 3) to adjust promptly the vector of each project evolution;
- 4) to focus the manager's attention on the causes of deviations.

Monitoring of project KPIs is carried out in a software tool where a strategic map is built, which allows to link goals, tasks, indicators and employees and track deviations of indicator's actual values from planned values during any period of time. To find out the reasons for the deviations, product owner refers to the knowledge base, which contains information about the project execution cases.

This approach will give a necessary flexibility of the product life cycle, which is needful in conditions of modern market competition.

## References

- [1] **Archibald R.** Management of High-Tech Programs and Projects / Russell D. Archibald; per. from English Mamontova E.V. [In Russian]. Moscow: DMK Press; IT co, 2010, 464 p.
- [2] **Nikulina NO, Malakhova AI, Batalova VI.** Methodology for assessing the contribution of project team members to achieving the goals of the IT project [In Russian]. *Information and mathematical technologies in science and management*. 2021; 2(22): 94–104. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.010.
- [3] **Kon M.** Agile. Project evaluation and planning [In Russian]. Moscow: Alpina Publisher, 2018, 418 p.
- [4] **Sutherland J.**, Scrum. The revolutionary method of project management [In Russian]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2016, 186 p.
- [5] **Guarino N, Giaretta P.** Ontologies and Knowledge Bases. Towards a Terminological Clarification. In: *Towards Very Large Knowledge Bases*. N.J.I. Mars (ed.), IOS Press, Amsterdam, 1995.
- [6] **Yerzhenin RV, Massel LV,** Ontological approach to the knowledge representation about the methodology of modeling a complex control system [In Russian]. *Ontology of designing*, 2020; 10(4): 463–476. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.
- [7] **Gavrilova TA, Kudryavtsev DV, Muromtsev DI.** Knowledge Engineering. Models and methods [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House “Lan”, 2016, 324 p.
- [8] **Kaplan R, Norton D.** Balances Scorecard [In Russian]. Moscow: Olimpbusiness, 2003, 342 p.
- [9] **Barmina OV, Nikulina NO,** Intelligent system for interactive business processes management in project-oriented organizations [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017; 7(1): 48–65. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.
- [10] **Huali Tang, Shoufu Wan, Cong-Cong Li, Haiming Liang, Yucheng Dong.** Consensus Reaching Process in the Two-Rank Group Decision-Making with Heterogeneous Preference Information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 12 February 2021.
- [11] **Xiujuan Ma, Zaiwu Gong, Weiwei Guo,** Optimisation of Group Consistency for Incomplete Uncertain Preference Relation. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2020; 13(1): 130–141.
- [12] **Chernyakhovskaya LR, Malakhova AI, Nikulina NO, Batalova VI.** Information and analytical collective decision-making support using intelligent technologies. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1864 (2021) 012090, 13<sup>th</sup> Multiconference on Control Problems (MCCP 2020) 6-8 Oktober 2020. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/1864/1/012090.
- [13] A guide to the project management body of knowledge (PMBok), Sixth ed. / Project Management Institute, Inc., 14 Campus Boulevard, Newton Square, Pennsylvania 19073-3299 USA, 2017, 756 p.
- [14] **Loeffler M.** A Retrospective in Agile. Proven methods and innovative approaches [in Russian]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2020, 336 p.
- [15] **Chernyakhovskaya L, Nikulina N, Barmina O.** A balanced scorecard forming method for efficiency assessment of the software projects management. *Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2019)*. <https://doi.org/10.2991/itids-19.2019.16>.
- [16] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. National Research Council of Canada, Network Inference and Stanford University, 2004.
- [17] **Phelps C, Heidi R, Wadhwa A.** Knowledge, networks, and knowledge networks a review and research agenda. *Journal of Management*, 2012; 38(4): 1115–1166.
- [18] **Alavi M, Leidner DE.** Knowledge management systems: issues, challenges, and benefits. *Communications of the AIS*, 1999; 1(2es): 1-28. DOI:10.17705/1CAIS.00107.
- [19] **Lillehagen F, Krogstie J.** *Active Knowledge Modelling of Enterprises*. Springer, 2009, 436 p.
- [20] **Maier R, Hädrich T, Peinl R.** *Enterprise Knowledge Infrastructures: 2nd Edition*. Springer, 2010, 460 p.

---

## About the authors

**Natalya Olegovna Nikulina** (b. 1971) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 1994, PhD in Technical Science (1998). She is an associate professor of the Automated organizational management systems department of the MIREA (Russian Technological University) and methodologist of the «Training Center» department of the Scientific Research Institute «Voskhod». Researching fields are project management, system modeling and designing information-systems in organizational management. She is a co-author of more than 50 scientific articles and abstracts. Author ID (Scopus): 57218643085; Researcher ID (WoS): AAX-8251-2020; AuthorID (RSCI): 396597; ORCID 0000-0002-8594-2093. [nikulinano@outlook.com](mailto:nikuliano@outlook.com). ✉

**Anna Ivanovna Malakhova** (b. 1987) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2009. Defended a Ph.D. thesis in the field of system analysis, control and information processing (2013). Associate professor of Ufa State Aviation Technical University (Automated management systems department). Co-author of about 45 scientific

publications in the field of intellectual decision support systems development. Author ID (Scopus): 57224350806; Researcher ID (WoS): ABC-8039-2020; AuthorID (RSCI): 1005748; ORCID 0000-0003-0099-3594. [aimalakhova@gmail.com](mailto:aimalakhova@gmail.com).

**Valeriya Igorevna Batalova** (b. 1997) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2019, master's degree (2021) in computer science (Automated control systems department). Now she works as System analyst at the SberHealth company. Researching fields are project management, system modeling and ontology engineering. She is a co-author of 5 scientific articles and abstracts. [valeriabatalova2018@gmail.com](mailto:valeriabatalova2018@gmail.com).

**Olesya Vladimirovna Barmina** (b. 1988) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2011, master's degree (2014), post-graduate course (2018) in computer science (Department of technical cybernetics). Now she works as Senior Business Analyst at RingCentral (UK). Researching fields are project management, AI, ontology engineering. She is a co-author of more than 20 scientific articles and abstracts. ORCID 0000-0003-4404-1376. [obarmina@outlook.com](mailto:obarmina@outlook.com).

Received July 12, 2022. Revised August 30, 2022. Accepted September 5, 2022.

УДК 004.9:65.015

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-367-379



## Методика каскадирования целей в проектно-ориентированной компании

© 2022, Н.О. Никулина<sup>1,2</sup>✉, А.И. Малахова<sup>3</sup>, В.И. Баталова<sup>4</sup>, О.В. Бармина<sup>5</sup>

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт «Восход», Москва, Россия

<sup>3</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

<sup>4</sup> Компания СберЗдоровье, Уфа, Россия

<sup>5</sup> RingCentral, Лондон, Великобритания

### Аннотация

Одним из наиболее эффективных инструментов управления проектно-ориентированной компанией являются ключевые показатели эффективности – количественные показатели, позволяющие измерить степень успешности деятельности компании через определение стратегических целей. В проектно-ориентированной компании деятельность осуществляется в рамках реализации проектов. При этом каждый проект имеет набор параметров, характеризующих, с одной стороны, ход реализации проекта (сроки и стоимость реализации, квалификация исполнителей, частота изменений требований), а, с другой стороны – конечный продукт (функциональность, производительность, удобство использования и техническое обслуживание). Успех реализации проекта зависит и от процессов взаимодействия его участников. Визуализация взаимосвязей целей на стратегической карте, построенной на основе сбалансированной системы показателей, значительно облегчает взаимодействие сотрудников на различных уровнях принятия решений при возникновении проблемных ситуаций. Построение стратегической карты подразумевает назначение лиц, ответственных за достижение целевых значений показателей, мониторинг реализации проектов и составляющих их процессов. Это позволяет сформировать матрицу ответственности участников проекта, которая помогает определить степень загруженности исполнителей при выполнении процессов, относящихся к различным областям знаний. Предлагаемая авторами методика каскадирования целей в проектно-ориентированной компании позволит построить систему управления проектом с учётом различных факторов, влияющих на успех его реализации. Каскадирование основано на построении иерархии показателей эффективности проектно-ориентированной компании в соответствии с иерархией выполняемых проектов различного вида и масштаба. Использование данного подхода способствует повышению качества стратегического управления проектно-ориентированной организацией за счёт того, что стратегические цели и соответствующие им показатели подвергаются последовательной декомпозиции до уровня тактического и оперативного управления, а затем конкретизируются и адаптируются в структурных подразделениях. Новизна предлагаемой методики каскадирования заключается в разработке иерархии проектов с точки зрения приори-

тетности их реализации, а также в использовании в стратегической карте компании областей знаний проектного менеджмента.

**Ключевые слова:** проектно-ориентированная компания, стратегическая карта, сбалансированная система показателей, каскадирование целей, принятие решений, ключевые показатели эффективности, области знаний, управление проектом.

**Цитирование:** Никулина Н.О., Малахова А.И., Баталова В.И., Бармина О.В. Методика каскадирования целей в проектно-ориентированной компании // *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №3(45). С.367-379. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-367-379.

**Благодарности:** авторы выражают глубокую благодарность профессору Черняховской Лилии Рашитовне за помощь в проведении исследований, а также признательны членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию статьи.

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

## Рисунки и таблицы

Рисунок 1 – Схема процесса распределения ресурсов проекта

Рисунок 2 – Стратегическая карта сбалансированной системы показателей для повышения качества программного обеспечения

Таблица 1 – Матрица ответственности проекта

Таблица 2 – Соответствие ключевых показателей эффективности среднего уровня и ответственных за их достижение

Таблица 3 – Алгоритмы расчёта ключевых показателей эффективности для множества целей среднего уровня

## Список источников

- [1] *Арчибальд Р.* Управление высокотехнологичными программами и проектами. Пер. с англ. Мамонтова Е.В.; Под ред. Баженова А.Д., Арефьева А.О. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. 464 с.
- [2] *Никулина Н.О., Малахова А.И., Баталова В.И.* Методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проекта // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2021. №2 (22). С. 94–104. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.010.
- [3] *Кон М.* Agile. Оценка и планирование проектов. М.: Alpina Publisher, 2018. 418 p.
- [4] *Сазерленд Дж.* Scrum. Революционный метод управления проектами. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 186 с.
- [5] *Guarino N., Giaretta P.*, Ontologies and Knowledge Bases. Towards a Terminological Clarification // In: *Towards Very Large Knowledge Bases*. N.J.I. Mars (ed.), IOS Press, Amsterdam, 1995.
- [6] *Ерженин Р.В., Массель Л.В.* Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования сложной системы управления. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.463-476. DOI:10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.
- [7] *Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.* Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань, 2016. 324 с.
- [8] *Каплан Р.С., Нортон Д.П.* Сбалансированная система показателей : от стратегии к действию [пер. с англ. М. Павлова]. М.: Олимп-Бизнес, 2004. 294 с.
- [9] *Бармина О.В., Никулина Н.О.* Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях. *Онтология проектирования*, 2017. Т.7, №1 (23). С.48–65. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.
- [10] *Huali Tang, Shoufu Wan, Cong-Cong Li, Haiming Liang and Yucheng Dong*, Consensus Reaching Process in the Two-Rank Group Decision-Making with Heterogeneous Preference Information // *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 12 February 2021.
- [11] *Xiujuan Ma, Zaiwu Gong, Weiwei Guo*, Optimisation of Group Consistency for Incomplete Uncertain Preference Relation // *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2020. Vol. 13, Issue 1. pp.130–141.
- [12] *Chernyakhovskaya L.R., Malakhova A.I., Nikulina N.O., Batalova V.I.* Information and analytical collective decision-making support using intelligent technologies. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1864 (2021) 012090, 13<sup>th</sup> Multiconference on Control Problems (MCCP 2020) 6-8 Oktober 2020. IOP Publishing. DOI:10.1088/1742-6596/1864/1/012090.

- [13] A guide to the project management body of knowledge (PMBoK), Sixth ed. / Project Management Institute, Inc., 14 Campus Boulevard, Newton Square, Pennsylvania 19073-3299 USA, 2017, 756 p.
- [14] **Лоффлер М.** Ретроспектива в Agile. Проверенные методы и инновационные подходы [пер. с англ. А. Семенов]. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. 336 с.
- [15] **Chernyakhovskaya L., Nikulina N., Barmina O.** A balanced scorecard forming method for efficiency assessment of the software projects management // Proceedings of the 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2019). <https://doi.org/10.2991/itids-19.2019.16>.
- [16] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. National Research Council of Canada, Network Inference and Stanford University, 2004.
- [17] **Phelps C., Heidl R. and Wadhwa A.** Knowledge, networks, and knowledge networks a review and research agenda // Journal of Management, 2012. Vol. 38(4). pp. 1115–1166.
- [18] **Alavi M., Leidner D.E.**, Knowledge management systems: issues, challenges, and benefits. Communications of the AIS, 1999. vol. 1(2es). pp. 1-28. DOI:10.17705/1CAIS.00107.
- [19] **Lillehagen F., Krogstie J.**, Active Knowledge Modelling of Enterprises. Springer, 2009, 436 p.
- [20] **Maier R., Hädrich T., Peinl R.** Enterprise Knowledge Infrastructures: 2nd Edition. Springer, 2010, 460 p.

## Сведения об авторах



**Никулина Наталья Олеговна**, 1971 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ, 1994), к.т.н. (1998), доцент (2003). Доцент базовой кафедры автоматизированных систем организационного управления МИРЭА – Российского технологического университета, методист учебного отдела Научно-учебного департамента НИИ «Восход». Научные интересы: исследования в области управления проектами, системного моделирования и проектирования информационных систем в организационном управлении. В списке трудов более 50 работ в указанных областях. Author ID (Scopus): 57218643085; Researcher ID (WoS): AAX-8251-2020; AuthorID (РИНЦ): 396597; ORCID 0000-0002-8594-2093. [nikulino@outlook.com](mailto:nikulino@outlook.com). ✉

**Малахова Анна Ивановна**, 1987 г. рождения. Окончила УГАТУ (2009), к.т.н. (2013). Доцент кафедры автоматизированных систем управления УГАТУ. Научные интересы: системный анализ, управление и обработка информации, интеллектуальные технологии управления знаниями в прикладных областях. Соавтор более 45 научных публикаций в области разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Author ID (Scopus): 57224350806; Researcher ID (WoS): ABC-8039-2020; AuthorID (RSCI): 1005748; ORCID 0000-0003-0099-3594. [aimalakhova@gmail.com](mailto:aimalakhova@gmail.com).



**Баталова Валерия Игоревна**, 1997 г. рождения. Окончила УГАТУ (2019, бакалавр, 2021, магистр) по направлению Прикладная информатика. Системный аналитик компании «СберЗдоровье». Научные исследования в области управления проектами, системного моделирования и онтологического инжиниринга. Соавтор 5 научных работ, участник международных и всероссийских конференций. [valeriabatalova2018@gmail.com](mailto:valeriabatalova2018@gmail.com).

**Бармина Олеся Владимировна**, 1988 г. рождения. Окончила УГАТУ (2011), магистратуру (2014), аспирантуру по направлению «Информатика и вычислительная техника» (2018). Ведущий бизнес-аналитик компании RingCentral, г. Лондон. Научные интересы: реинжиниринг бизнес-процессов, управление программными проектами, интеллектуальные системы поддержки принятия решений. В списке трудов более 20 работ в указанных областях. ORCID 0000-0003-4404-1376. [obarmina@outlook.com](mailto:obarmina@outlook.com).



Поступила в редакцию 12.07.2022, после рецензирования 30.08.2022. Принята к публикации 05.09.2022.



## Методика построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта

© 2022, С.В. Микони

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский Центр РАН,  
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

Сокращение размерности модели, отражающей десятки разнообразных свойств сложного объекта, решается разбиением их на группы обобщённых свойств. Вместо опытного или экспертного подхода к формированию обобщённых свойств применён системный подход к формированию свойств верхнего уровня общности. Сущность подхода заключается в применении принципа проявления свойств объекта и его частей во взаимодействии с внешней средой. Предлагаемый способ выделения совокупности общих свойств сложного объекта применим не только к объектам разного назначения, но и разной природы (искусственной и естественной), что позволяет применять его к человеко-машинной системе. Для связывания свойств различных уровней общности применяется логико-лингвистический анализ понятий, соответствующих используемым показателям. Лингвистический анализ заключается в извлечении существенных признаков из определений понятий, а логический анализ – в определении родовидовой связи между существенными признаками сопоставляемых показателей. Предложенная методика демонстрируется на примере построения структуры показателей привязной высотной платформы на базе мультикоптера. Отмечается возможность получения частичных оценок платформы в отсутствие полноты характеризующих их показателей.

**Ключевые слова:** сложный объект, технический уровень, многоуровневая модель оценивания, системный анализ, логико-лингвистический анализ, структурирование показателей.

**Цитирование:** Микони С.В. Методика построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.380-392. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-380-392.

**Финансирование:** исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

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

### Введение

Оценивание технического уровня и качества изделий промышленности актуально на любой стадии их жизненного цикла – от зарождения облика до снятия с эксплуатации [1, 2]. Всесторонний взгляд на изделие означает его оценивание по нескольким свойствам, и чем объект сложнее, тем больше свойств подлежит оцениванию. Характерной особенностью современных сложных объектов (СЛО) является встроенная в них система управления. В настоящее время СЛО с встроенным управлением называют киберфизическими системами (КФС) [3], а системы, в контур управления которых включён оператор, – социо-киберфизическими системами (СКФС) [4]. СКФС называют также человеко-машинными (эргатическими) системами [5], реализующими принцип дополненности формального и «живого» знания в управлении [6].

Учёт разнородности оцениваемых свойств СЛО достигается разбиением их по группам. Например, в оценке экономики страны для группирования различных показателей деятельности используются общероссийские классификаторы разного назначения. В технических приложениях используются различные подходы к систематизации показателей, характери-

зующих СлО. В работе [7] предлагается подход, использующий экспертные оценки; общие свойства транспортной системы (ТС) с позиций интереса участников её жизненного цикла рассматривались в [8]. Предложенные в этой работе свойства верхнего уровня были сопоставлены со свойствами, используемыми на практике, на примере структур показателей грузового автомобиля.

Различие структур показателей оцениваемого объекта влечёт различные средневзвешенные оценки. Степень доверия к этим оценкам зависит от обоснованности соответствующих структур. Актуальной является задача обоснования правомерности предлагаемой иерархической системы показателей СлО. На практике зачастую приходится решать задачу частичного оценивания СлО, когда известны значения лишь части показателей, либо лишь часть из них представляет интерес. В любом случае необходимо решать задачу их общности и принадлежности показателю большей общности – обобщённому или составному показателю. Решению этой задачи посвящена настоящая работа.

## 1 Общие свойства сложных объектов

Для решения поставленной задачи представляют интерес, прежде всего, наиболее общие свойства СлО. На рисунке 1 они отмечены пунктирным крестом. Каждое свойство проявляется во взаимодействии с другими объектами или частями СлО.

### 1.1 Взаимодействие с объектом воздействия

Ключевым свойством любого объекта, определяющего взаимодействие с другими объектами, является его *назначение*. Оно характеризует потребительские свойства объекта, его роль (миссию) среди других объектов. Это касается систем как естественного, так и искусственного происхождения. Мобильный телефон – это, прежде всего, средство связи, автомобиль – это транспортное средство и т.п.

Назначение объекта характеризуется его *функциональностью* и *оперативностью*. Функциональность представляется набором реализуемых объектом функций. Здесь под функцией понимается возможность осуществить требуемое действие (операцию).

Универсальной функциональностью потенциально обладает только человек. Специализация человека осуществляется в процессе профессионального обучения. Техническая система специализируется на стадии замысла. Примером специализации являются ТС. Их назначением - *перемещение некоторого объекта на заданное расстояние*. Объектами перемещения являются вещество, энергия или информация. По отношению к объектам перемещения разновидностями ТС являются вещественная или транспортная (транспортировка людей и грузов), *энергетическая* и *информационная* система.

*Оперативность* отражает выполнение функций объектом во времени и характеризует динамические свойства системы, измеряемые временными параметрами.

### 1.2 Взаимодействие с оператором

С позиции СКФС оператор (пользователь) является её частью. Все свойства системы обеспечиваются её устройством. Устройство киберфизической части системы состоит из трёх составляющих: вещественной, энергетической и информационной. Вещественная составляющая представляет собой носитель процессов и характеризуется *конструкцией* (архитектурой). Энергетическая составляющая активизирует процессы, осуществляемые физическими сигналами. Информационная составляющая реализуется посредством языка, кодирующего сигналы. Такая трактовка устройства применима и к человеку-оператору.



Рисунок 1 - Основные свойства оцениваемого объекта

*Устройство* системы, как общее понятие, трактуется по-своему в каждой предметной области. Например, спортивный врач под внешним устройством человека понимает его телосложение, особенности которого существенны для спортивной ориентации человека; в строительстве и программировании внешнее устройство системы называют *архитектурой*; в приборостроении – *конструкцией* прибора и т.д. Внутреннее устройство систем различного назначения ещё более разнообразно.

От оператора к технической (киберфизической) части системы предъявляются требования *безопасности, эргономичности и эстетичности*. Безопасность характеризует степень защищённости человека в обращении с технической частью системы. Например, для обеспечения безопасности пассажиров на случай аварии в автомобиле предусмотрены ремни и подушки безопасности; функциональная безопасность программного обеспечения связана с причинением ущерба человеку при его отказе [9] и т.п.

Эргономичность подразумевает удобство управления и пользования объектом и достигается за счёт дополнительных функций системы. Например, для облегчения управления ТС в него включаются средства искусственного интеллекта. Эстетичность отражает гармонию содержания и формы системы, улучшает психологическое состояние человека.

### 1.3 Влияние внутренней и внешней среды

В условиях изменения внутренней и внешней среды важными свойствами объекта, которые обеспечивают его равновесие со средой, являются *стабильность* и *развиваемость*.

*Стабильность* здесь означает сохранение основных функций объекта при изменении состояния внутренней и внешней среды. Стабильность характеризуется такими свойствами объекта, как *устойчивость*, *надёжность* и *живучесть*.

Под *устойчивостью системы* здесь понимается её *способность выполнять свои функции в условиях допустимых возмущающих воздействий внутренней и внешней среды*. По средствам обеспечения следует различать пассивную и активную устойчивость. Под пассивной устойчивостью (в медицине – резистентностью) понимают естественную сопротивляемость объекта (в медицине – субъекта) внутренним и внешним воздействиям. Для обеспечения активной устойчивости востребованы функции управления, обеспечивающие способность системы возвращаться в равновесное состояние при выводе из него внешними воздействиями (гомеостазис). В технике этот вид управления называют автоматическим регулированием. К различным видам устойчивости относятся также *помехоустойчивость*, *отказоустойчивость*.

*Надёжность* – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования [10]. Способность объекта выполнять требуемые функции определяется нахождением значений всех контролируемых параметров в установленных пределах. Основной причиной ухудшения надёжности является старение объекта.

Надёжность восстанавливаемых объектов измеряется средней частотой и продолжительностью простоя или средним временем восстановления. Уровень надёжности определяет способ обслуживания объекта. Чем более надёжно изделие, тем больше срок гарантийного обслуживания, тем меньше средств уходит на поддержание его в рабочем состоянии. Надёжность объекта характеризуется также его *долговечностью*, *сохраняемостью*, *ремонтпригодностью*.

*Живучесть* – это способность объекта выполнять свои функции, несмотря на полученные *повреждения*. Живучесть можно рассматривать как частичную устойчивость в части сохранения важнейших функций объекта. Это свойство объекта характеризует его способность сохранять реализуемые им функции при повреждающих воздействиях внешней среды.

*Развиваемость* является антиподом стабильности, поскольку влечёт изменение свойств объекта в условиях существенного изменения внутренней и внешней среды. Это свойство позволяет продлить существование системы в быстро меняющемся мире, отражая её способность к развитию и саморазвитию. Средствами развития СЛО являются его *обучение*, способность *предвидения* будущего и *выбора* пути достижения цели. Этими свойствами наделяются СЛО с применением, в том числе, методов и средств искусственного интеллекта. Обладая информацией о вариантах своего будущего состояния и их последствиях, объект получает возможность выбора наиболее приемлемого из них. Развиваемость присуща автономным СЛО. *Автономность* объекта подразумевает самостоятельность его взаимодействия с внешней средой, реализуемого через принятие решения об изменении поведения при изменении состояния внешней среды.

### 1.4 Взаимодействие с внешней средой

Взаимодействие с внешней средой реализуется через *потребление* её ресурсов и *отправление* в неё отходов своей деятельности (загрязнение). Объём потребления ресурсов характе-

ризуется *ресурсоёмкостью* объекта. В общей трактовке – это совокупность свойств объекта, характеризующая объёмы используемых для его функционирования ресурсов и продолжительность их использования. Различают следующие виды ресурсов: вещественные, энергетические, информационные, временные, человеческие, финансовые. Объём потребления ресурса измеряется соответственно в массо-габаритных единицах, киловатт-часах, битах и байтах, единицах времени, человеко-часах, в денежных единицах. Важнейшим из видов ресурсов является энергия, потребляемая напрямую или преобразуемая из топлива.

Объём отходов от деятельности системы, загрязняющих *землю, воду и воздух* характеризует экологичность системы.

### 1.5 Свойства СЛО как объекта и субъекта управления

Как объект управления СЛО характеризуется *управляемостью и наблюдаемостью*. Управляемость определяется, как потенциальная *возможность перевести систему из текущего состояния в заданное состояние*.

*Наблюдаемость* в теории управления – это свойство системы, показывающее, *можно ли по выходным данным полностью восстановить информацию о состоянии системы*. На практике наблюдаемость позволяет своевременно обнаруживать отклонения режима функционирования объекта, в т.ч. опасные, анализировать развитие аварийных процессов и характеризовать ситуацию в районе аварии.

В роли субъекта управления оцениваемый СЛО может осуществлять управление разного уровня сложности и отвечать различными типами поведения: рефлексивно, адаптивно, целеустремлённо и прагматично [11].

*Рефлексивное* поведение здесь рассматривается как аналог действия подсознания. В дискретном случае реализуется базой знаний (БЗ) продукционного типа. В непрерывном случае рассматривается как автоматическое регулирование в управлении. Рефлексивное поведение реализуется в бесконфликтной среде в отсутствие претендентов на ресурсы.

*Адаптивное* поведение, приспособительное к окружающей среде, подобно сознательному действию. С точки зрения текущей ситуации - это ситуативное управление. Управляющее воздействие выбирается с учётом состояния окружающей среды, что требует представления её свойств в БЗ. В непрерывном случае изменяются уставки либо меняется структура управления. Такое поведение реализуемо в конфликтной среде при наличии претендентов на ресурсы.

*Целеустремлённое* поведение характеризуется выбором путей, методов и средств достижения цели. В простейшем случае это метод проб и ошибок с пометкой шагов в лабиринте. Он представляет собой последовательный выбор шагов в направлении поставленной цели.

*Прагматичное* поведение характеризуется выбором путей достижения цели с учётом *затрат ресурсов* (многомерное оценивание вариантов достижения цели). Применяется при оптимизации расхода ограниченных ресурсов для достижения цели.

Все типы поведения могут совершенствоваться на основе обучения и формирования предсказательных способностей.

### 1.6 Взаимодействие с изготовителем

Это взаимодействие выражается через технологичность оцениваемого СЛО. *Технологичность - это одна из характеристик изделия, которая выражает его приспособленность к производству (производственная технологичность), эксплуатации (эксплуатационная технологичность) и ремонту (ремонтная технологичность)*. Это свойство характеризует эффективность процессов изготовления, обслуживания и утилизации объекта и формируется

его проектировщиком. Процесс утилизации объекта инициируется субъектом управления. Технологичность технических изделий конкретизируется свойствами патентной защищённости, стандартизации, унификации и пр.

### 1.7 Взаимодействие с потребителем

Потребительские свойства выражаются через значения первичных показателей СЛО. Свойства готового объекта имеют экономический эквивалент. Через него и реализуются отношения владельца объекта (изготовителя, продавца) и его потребителя (покупка, аренда). К экономической категории относятся, прежде всего, себестоимость и рыночная стоимость объекта.

*Себестоимость.* Это свойство системы формируется экономистом, характеризуя ресурсы, в том числе и человеческие, затраченные на создание системы, и отражает экономическую эффективность деятельности предприятия.

*Рыночная стоимость* отражает потребительские свойства системы в сравнении с системами аналогичного назначения и определяется оценщиком. Она включает себестоимость объекта, наценки и расходы на обслуживание, характеризуя качество и технический уровень объекта только опосредованно, поскольку оценивает не конкретные свойства объекта, а отношение к ним через стоимостные показатели. Это отношение ситуативно, поскольку зависит от многих факторов, специфических для страны, организации-разработчика объекта и его востребованности [12].

### 1.8 Собственные свойства объекта

Из рассмотренных свойств к ним относятся (см. рисунок 1): *назначение* объекта, его *устройство*, *стабильность* и *развиваемость*, *ресурсоёмкость* и *экологичность*, *управляемость* и *сложность управления*. В СКФС этими свойствами характеризуется не только её киберфизическая подсистема, но и взаимодействующий с ней оператор-пользователь. Общие свойства поэтапно детализируются на более конкретные вплоть до элементарных свойств, измеряемых физическими величинами. Результатом такой детализации является многоуровневая (иерархическая) система показателей. Производственные и экономические свойства оцениваемого объекта отражают интерес таких субъектов экономики, как его *изготовитель* и *потребитель*.

## 2 Связывание показателей различных уровней общности

Построение многоуровневой системы показателей, характеризующей свойства СЛО на разных уровнях их детализации, заключается в связывании обобщённых и единичных измеряемых показателей. Поскольку показатели именуются словами естественного языка (ЕЯ), их связывание осуществляется с применением логико-лингвистических моделей [13].

Понятие, выражаемое показателем  $A$ , характеризуется содержанием  $C_A$  и объёмом  $V_A$ :

$$C_A = \{C_1, \dots, C_j, \dots, C_k\}, V_A = \{a_i \mid \forall C_j \in C_A\}.$$

Содержание понятия  $C_A$  задаётся перечислением  $k$  существенных признаков  $C_j$ , которыми обладают предметы, входящие в понятие  $A$ .

Объём понятия  $V_A$  задаётся описанием условий, которым удовлетворяют предметы, входящие в понятие  $A$ . Этот способ описания позволяет избежать проблем, связанных с представлением большого количества предметов – в ряде случаев счётного множества. Объём понятия  $V_A$  в общем случае представляет собой класс, поскольку не всегда можно определить принадлежность элемента понятию  $A$ .

Теоретико-множественное представление понятий позволяет формализовать отношения между ними. Из содержательного и объёмного представления понятий для этой цели наиболее приемлемым является первое, поскольку множество существенных признаков (СП) перечислимо и имеет небольшую мощность. Необходимым условием родства двух понятий  $A$  и  $B$  является непустое пересечение СП двух понятий:

$$C(A) \cap C(B) \neq \emptyset. \quad (1)$$

*Пример.* Понятия «табурет» и «стул» можно характеризовать следующими СП:

Табурет = {Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки}.

Стул = {Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки, Спинка}.

Эти понятия родственны по первым трём СП:  $C(\text{табурет}) \cap C(\text{стул}) = \{\text{Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки}\}$ . Стул отличается от табурета видовым отличием «спинка»:  $C(\text{стул}) \setminus C(\text{табурет}) = \text{Спинка}$ . Таким образом, стул наследует все признаки, присущие табурету и, следовательно, является видовым понятием по отношению к родовому понятию «табурет». Эта родо-видовая связь моделирует отношение «общее-частное», если условие (1) дополняется условием (2):

$$C(A) \subset C(B). \quad (2)$$

В примере  $A = \text{табурет}$ , а  $B = \text{стул}$ . В отсутствие условия (2) имеет место слабое родство понятий, принадлежащих разным категориям предметов. Примером слабого родства является наличие ножек у табурета и у паука. Такое родство понятий используется в метафорах и аналогиях.

При перечислительном определении термина существенные признаки выражаются в явном виде. В более общем случае они извлекаются из определения понятия. Извлечение существенных признаков из определений понятий с применением «семантических актантов», введённых Л. Теньером [14], рассматривалось в [15].

Выполнение условий (1) и (2) на практике затрудняется из-за наличия разных определений одного и того же понятия и синонимии слов. Для приведения разных определений к общему смыслу используется переход к универсальным языкам изображений (образное мышление) и формул (знаковое мышление). Проблема синонимии решается с применением словарей синонимов и применением принципа наименьшего общего знаменателя обыкновенных дробей. Таким знаменателем является существенный признак, отражающий назначение понятия. Этот процесс можно назвать нормализацией СП. В примере с табуретом и стулом им является СП «приспособление для фиксации сидячей позы». Общность этого СП позволяет связать понятия соседних уровней общности – «табурет» и «стул».

На основе выполненного анализа предлагается следующая методика связывания понятий, относящихся к соседним уровням общности.

Понятия верхнего уровня заданы перечнем обобщённых  $G = \{G_1, \dots, G_i, \dots, G_n\}$ , а понятия нижнего уровня – перечнем частных  $P = \{P_1, \dots, P_j, \dots, P_N\}$  показателей. Требуется найти связи между показателями верхнего и нижнего уровней как отношение цель-средство:

$$R = \{(G_i, P_j): C(G_i) \cap C(P_j) \neq \emptyset, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, N}\}.$$

Условием  $C(G_i) \cap C(P_j) \neq \emptyset$  является совпадение частной цели  $G_{il}$  обобщённого показателя  $G_i$  с одной из целей  $P_{jm}$  частного показателя  $P_j$ :  $G_{il} = P_{jm}$ .

Процесс решения делится на три этапа, из них первые два – подготовительные.

Этап I. **Формирование содержаний обобщающих показателей**

1) Выполняется поиск в Интернете определений  $D(G_i) = \{D_1(G_i), \dots, D_r(G_i), \dots, D_k(G_i)\}$  понятия  $G_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $k > 1$ .

2) Из определения  $D_r(G_i)$ ,  $r = \overline{1, k}$ ,  $i$ -го понятия формируется его содержание  $C_r(G_i)$ .

- 3) Находятся общие СП понятия  $G_i$ , извлечённые из разных определений:  $\bigcap_{r=1}^k C_r(Q_i)$ .
- 4) Если  $\bigcap_{r=1}^k C_r(Q_i) = \emptyset$ , то выполняется нормализация СП  $G_{i,r} \in C_r(G_i)$ ,  $r = \overline{1, k}$ , для чего осуществляется поиск синонимов и антонимов СП. Общеупотребительные синонимы и антонимы имеются в готовых лингвистических библиотеках, а специальные берутся из базы данных эксперта.
- 5) Если СП не могут быть выражены одинаковыми словами, осуществляется поиск более общих понятий. Например, слова *уйти* и *убежать* обобщаются словом *удалиться* (соответственно медленно или быстро).
- 6) По результатам сопоставления содержаний  $C_r(G_i)$ ,  $r = \overline{1, k}$ ,  $i$ -го понятия формируется обобщённое содержание  $C(G_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

#### Этап II. *Формирование содержаний частных показателей*

Выполняются все шаги этапа I применительно к частным показателям  $P_j$ ,  $j = \overline{1, N}$ .

#### Этап III. *Установление связи между частными и обобщёнными показателями*

- 1) Начальные условия:  $j=1$ ,  $i=1$ .
- 2) Выбрать  $j$ -й частный показатель с содержанием  $C(P_j) = \{P_1, \dots, P_j, \dots, P_N\}$ .
- 3) Найти признак назначения  $P_{j,n} \in C(P_j)$ , отвечающий на вопрос «Для чего?» («Зачем?»).
- 4) Выбрать  $i$ -й обобщённый показатель  $G_i$ .
- 5) Найти пересечение признака назначения  $P_{j,n} \in P_j$  с  $C(G_i)$ .
- 6) Если  $P_{j,n} \cap C(G_i) \neq \emptyset$ , то установлена связь «цель-средство» ( $G_i, P_j$ ) между  $j$ -м частным показателем и  $i$ -м обобщённым показателем, иначе идти к 8.
- 7) Если  $j < N$ ,  $j := j + 1$ , идти к 2, иначе конец.
- 8) Если  $i < n$ ,  $i := i + 1$ , идти к 4.

Если  $C(G_i) \cap C(P_j) = \emptyset$  при перечислении всех  $n$  обобщённых показателей,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j$ -й показатель не вписывается в иерархию показателей, что требует выяснения причин.

Очевидно, что достоверность установленной связи между понятиями зависит от достоверности использованных СП. При извлечении СП из определений понятий их достоверность зависит от качества определений.

На структурирование показателей Сло на верхних уровнях иерархии влияют особенности его оценивания. С точки зрения эффективности функционирования Сло показатели делятся на целевые и ресурсные. Первые обеспечивают функциональность, стабильность и развиваемость Сло. Они подлежат максимизации. Вторые отражают ресурсы, затрачиваемые на реализацию указанных свойств. Они подлежат минимизации. Особняком выделяются классификационные и стоимостные показатели. Первые обеспечивают сопоставимость объектов в рамках выделенных классов. Вторые отражают себестоимость Сло и спрос на него. Указанные особенности структурирования показателей Сло рассмотрены на примере.

### 3 Пример проектирования многоуровневой системы показателей

На этапе проектирования облика объекта выбирается его предпочтительный вариант. Исходными вариантами могут быть планируемые или уже существующие объекты. Можно поставить задачу выбора предпочтительного варианта на примере имеющихся образцов привязных высотных платформ (ПВП). ПВП представлены пятью экземплярами и характеризу-

ются девятью показателями с известными значениями (см. таблицу 1). Из пяти ПВП, подлежащих оцениванию, первые четыре изготавливаются в Китае, а пятый – в России.

В [16] назначение ПВП определено как «длительное *зависание* на определённой высоте для выполнения многоцелевых задач (наблюдения, связи и т.п.)». Все слова этого определения поясняют семантический акт «зависание», характеризующий действие ПВП. Длительное *зависание* на определённой высоте характеризуется двумя показателями из таблицы 1 – максимальной высотой подъёма и временем полёта (длительностью зависания). Выполнение многоцелевых задач осуществляется приборами наблюдения, связи и т.п., охарактеризованными в таблице 1 показателем «Макс. масса полезной нагрузки, кг». Таким образом, эти три показателя отражают назначение ПВП.

Таблица 1 – Характеристики ПВП

ПВП	Макс. высота подъёма, м	Время полёта, ч	Макс. допустим. скорость ветра, м/с	Макс. взлётная масса, кг	Макс. масса полезной нагрузки, кг	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Стоимость, млн. руб
Matrice 300	75	8	15	9,00	2,7	0,810	0,670	0,430	0,869
Matrice 200/21	75	6	12	6,14	1,5	0,887	0,880	0,378	0,432
Matrice 600	100	5	8	15,50	6,0	0,720	0,800	0,360	0,392
Phantom 4/4 PRO	60	2,5	10	1,39	0,3	0,247	0,247	0,196	0,105
Геоскан 401	100	72	10	9,50	2,0	1,560	1,560	0,560	1,650

Слово «зависание» имеет смысл состояния покоя. Это состояние нарушается воздействиями атмосферы (ветер, давление, температура). Одно из этих воздействий в таблице 1 измерено показателем «Макс. допустим. скорость ветра, м/с». Он характеризует *устойчивость* ПВП по отношению к силе ветра.

Взлётная масса выполняет функцию классификационного показателя, который обобщённо характеризует класс летательных аппаратов. Их сопоставимость обеспечивается только в пределах одного класса. Этот показатель важен также для определения относительной массы полезной нагрузки, характеризующей ресурсные возможности летательного аппарата.

Термин «ресурсы» отражает средства, затрачиваемые на реализацию целевых свойств ПВП. В этом смысле к ресурсным показателям следует отнести габаритные характеристики летательного аппарата (длину, ширину, высоту). Они обеспечивают заданные лётные качества ПВП. В модель оценивания объектов должны вноситься только независимые показатели. Показатели «Длина» и «Ширина» платформы могут быть заменены вычисляемым показателем «Диагональ».

Таким образом, многоуровневая модель оценивания ПВП представляется тремя показателями назначения, одним показателем устойчивости и тремя показателями ресурсоёмкости. Стоимость ПВП, как экономический показатель, выделяется в отдельную группу. Стоимость в рассматриваемом примере охватывает не все свойства ПВП. В частности, в таблице 1 отсутствуют показатели, характеризующие стартовую платформу. Стоимость ПВП можно использовать либо в качестве ограничения, либо как частную цель в некоторой пропорции к общей характеристике СЛО. Четырёхуровневая структура рассмотренных показателей представлена на рисунке 2.

На основе предложенной структуры и значений показателей могут быть вычислены частные средневзвешенные оценки ПВП. Для получения общих оценок список и структура показателей должны быть дополнены показателями, охватывающими все свойства ПВП.

Полнотой элементарных показателей обладает составной показатель «Назначение ПВП». Это означает возможность адекватного сопоставления ПВП по этому показателю при условии сопоставимости значений элементарных показателей. Условию сопоставимости значений элементарных показателей не отвечает ПВП *Phantom 4/4 PRO* по показателю «Время полёта» (более чем в 2 раза уступает остальным ПВП) и ПВП *Matrice 600* – по показателю «Макс. масса полезной нагрузки» (более чем в 2 раза превышает остальные ПВП). Это означает, что указанные ПВП должны оцениваться в той же системе показателей, но в рамках других классов, различающихся шкалами показателей.

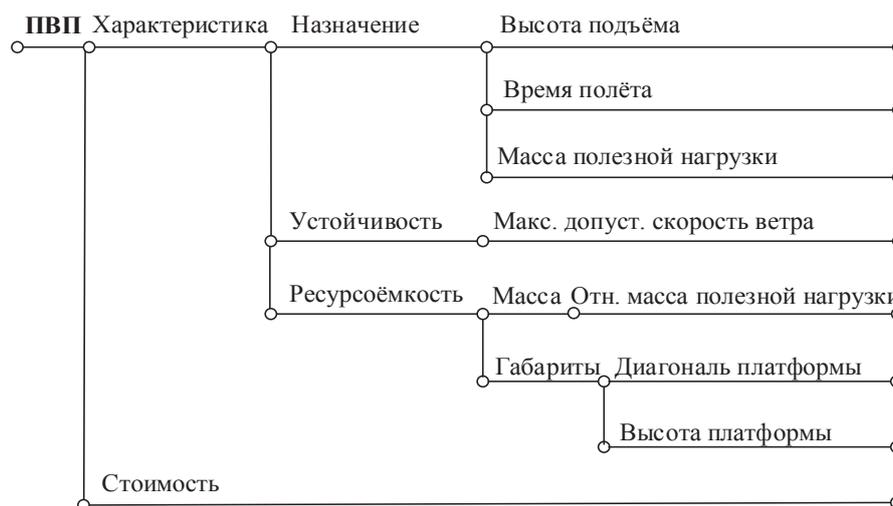


Рисунок 2 – Структура оцениваемых показателей ПВП

## Заключение

Влияние структуры показателей сложного объекта на его средневзвешенную оценку требует исчерпывающего обоснования её достоверности. На основе системного подхода для оценивания СЛО предложена совокупность его свойств, применимых к объектам разного назначения, но и разной природы. Это позволяет с единых позиций анализировать свойства технической части СКФС и взаимодействующего с ней человека-оператора. Системный подход не исключает, но позволяет уменьшить влияние субъективного фактора при создании многоуровневой модели оценивания СЛО.

Наличие показателей, характеризующих общие свойства СЛО и известных первичных показателей конкретного объекта, обуславливает применение методики, которая связывает показатели разного уровня общности. В работе применена методика, основанная на логико-лингвистическом анализе соответствующих понятий. Родовидовая связь между родственными понятиями выявляется путём теоретико-множественных операций над СП, извлечёнными из определений понятий.

Предложенная методика опробована на примере построения многоуровневой структуры показателей на базе мультикоопера. В примере формальные операции над СП понятий заменены логическими суждениями. Показано, что в отсутствие полноты показателей может быть выполнена оценка ПВП по отдельным составным показателям.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Воронов Е.М., Щербинин В.В., Семенов С.С.** К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла. *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №2(20). С.173-192. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
  - [2] **Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крынев А.В.** Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных систем. М.: ЛЕНАНД. 2015. 517 с.
  - [3] **Suryanarayanan S., Roche R., Hansen T.M.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering. Publisher: The Institution of Engineering and Technology (October 5, 2016). 520 p.
  - [4] **Lee E.A., Seshia S.A.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017.
  - [5] **Губинский А.И.** Надёжность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука. 1982. 270 с.
  - [6] **Виттих В.А.** Дополнительность системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности // Труды XIX Международной конференции (12-15.09.2017, Самара, Россия) «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: ООО «Офорт». 2017. С.4-11.
  - [7] **Семенов С.С.** Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок. М.: ЛЕНАНД. 2015. 350 с.
  - [8] **Микони С.В.** Формирование обобщённых показателей транспортной системы с позиций заинтересованных сторон. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №2(28). С.296-304. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.
  - [9] **Луцаев В.В.** Функциональная безопасность программных средств. М.: СИНТЕГ. 2004. 348 с.
  - [10] ГОСТ Р 27.101-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Надёжность в технике. Надёжность выполнения задания и управление непрерывностью деятельности. Термины и определения. Дата введения 2022-01-01.
  - [11] **Russell S.J., Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.). Upper Saddle River. 2003. New Jersey: Prentice Hall. Chapter 2. ISBN 0-13-790395-2.
  - [12] **Mikoni S.V.** Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems. Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674. 1–14.
  - [13] **Поспелов Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоатомиздат. 1981. 232 с.
  - [14] **Теньер Л.** Основы структурного синтаксиса / Пер. с франц. Вступ. ст. и общ. ред. В.Г. Гака. М.: Прогресс. 1988. 656 с.
  - [15] **Микони С.В.** Обобщённая онтологическая модель управления в концепции социо-киберфизической системы // *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №2(32). С.191-202. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.
  - [16] **Микони С.В., Полтавский А.В., Семёнов С.С.** Привязные высотные платформы на базе мультикоптеров // *Боеприпасы*. 2022. № 1. С.20-47.
- 

## Сведения об авторе



**Микони Станислав Витальевич**, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994) ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций 340 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. [smikoni@mail.ru](mailto:smikoni@mail.ru).

---

Поступила в редакцию 17.06.2022, после рецензирования 23.08.2022. Принята к публикации 30.08.2022.

---



## Methodology for creating a multilevel model for evaluating a complex object

© 2022, S.V. Mikoni

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences*

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

### Abstract

Reducing the dimension of a model that reflects dozens of various properties of a complex object is solved by dividing them into groups of generalized properties. Instead of an experienced or expert approach to the formation of generalized properties, a systematic approach to the formation of properties of the upper level of generality is applied. The essence of the approach lies in the application of the manifestation principle of object properties and its parts in interaction with the external environment. The proposed method for extracting a set of common properties of a complex object is applicable not only to objects of different purposes, but also of different nature (artificial and natural), which makes it possible to apply it to a human-machine system. To link properties of different levels of generality, a logical-linguistic analysis of concepts corresponding to the indicators used is applied. Linguistic analysis consists in extracting essential features from the definitions of concepts, and logical analysis - in determining the generic relationship between the essential features of the compared indicators. The proposed method is demonstrated on the example of creating a structure of indicators of a tethered high-altitude platform based on a multicopter. The possibility of obtaining partial estimates of platforms in the absence of completeness of indicators characterizing them is noted.

**Key words:** *complex object, technical level, multi-level assessment model, system analysis, logical-linguistic analysis, structuring of indicators.*

**Citation:** *Mikoni SV. Methodology for creating a multilevel model for evaluating a complex object [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 380-392. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-380-392.*

**Financial support:** Research carried out on this topic was carried out under budget topic FFZF-2022-0004.

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

### List of figures and table

Figure 1 - Main properties of the assessed object

Figure 2 - The structure of the estimated indicators of tethered high-altitude platforms

Table 1 - Characteristics of tethered high-altitude platforms

### References

- [1] **Voronov EM, Shcherbinin VV, Semenov SS.** To an estimation of a technical level of complex technical systems in view of a full life cycle [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(2): 173-192. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [2] **Semenov SS, Voronov EM, Poltavskij AV, Kryanev AV.** Decision-making methods in the tasks of assessing the quality and technical level of complex systems [In Russian]. Moscow: LENAND. 2015. 517 p.
- [3] **Suryanarayanan S, Roche R, Hansen TM.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering. Publisher: The Institution of Engineering and Technology (October 5, 2016). 520 p.
- [4] **Lee EA, Seshia SA.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017.
- [5] **Gubinskii AI.** Reliability and quality of functioning of ergatic systems [In Russian]. Leningrad: Nauka. 1982. 270 p.

- [6] **Vittih VA.** Complementarity of systemic and everyday approaches to resolving problem situations in everyday life [In Russian]. Proceedings of the XIX International Conference (12-15.09.2017, Samara, Russia) "Problems of control and modeling in complex systems". Samara: OOO «Ofort». 2017. 4-11.
  - [7] **Semenov SS.** Assessment of the quality and technical level of complex systems. The practice of expert assessments applying. [In Russian]. Moscow: LENAND. 2015. 350 p.
  - [8] **Mikoni SV.** Formation of generalized indicators of the transport system from the positions of stakeholders. [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 296-304. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.
  - [9] **Lipaev VV.** Functional safety of software [In Russian]. Moscow: SINTEG. 2004. 348 p.
  - [10] GOST 27.101-2021. Dependability in technics. Dependability of task performance and business continuity management. Terms and definitions [In Russian]. Effective date 01/01/2022.
  - [11] **Russell SJ, Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.). Upper Saddle River. 2003. New Jersey: Prentice Hall. Chapter 2. ISBN 0-13-790395-2.
  - [12] **Mikoni SV.** Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems. Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674. 1–14.
  - [13] **Pospelov DA.** Logical-linguistic models in control systems [In Russian]. Moscow: Energoatomizdat. 1981. 232 p.
  - [14] **Tenier L.** Fundamentals of structural syntax [In Russian]. Trans. from French. Introd. general ed. V.G. Gaka. Moscow: Progress. 1988. 656 p.
  - [15] **Mikoni SV.** Generalized ontological model of control in the concept of a socio-cyberphysical system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 191-202. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.
  - [16] **Mikoni SV, Poltavskii AV, Semenov SS.** Tethered high-altitude platforms based on multicopters [In Russian]. *Ammunition*. 2022; 1: 20-47.
- 

## About the author

**Stanislav Vitalievich Mikoni** (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994). He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (1998). He is the author and a co-author of 340 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematics, system analyses, artificial intelligence, and decision making theory. AuthorID (РИИЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. [smikoni@mail.ru](mailto:smikoni@mail.ru)

---

Received June 17, 2022, Revised August 23, 2022. Accepted August 30, 2022.

---



## Конструкторско-технологическое проектирование деталей из слоистого тканевого композита

© 2022, А.А. Павлов

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

### Аннотация

Рассматриваются особенности решения задачи проектирования деталей сложной формы из слоистых тканевых композитов в триаде «материал-технология-конструкция». На основе разработанных моделей проектная задача формулируется в терминах нелинейного математического программирования. Новым является подход к выбору основных проектных переменных путём разбиения цифровой модели изделия на конструктивно-технологические группы, которые обеспечивают быстрый и наглядный поиск рациональной структуры и распределения материала в конструкции с использованием генетического алгоритма оптимизации. Предлагаемый подход является развитием методики «точного проектирования» и обеспечивает технологическую осуществимость композитных конструкций слоистой структуры и их высокую весовую отдачу с минимальными доработками на завершающих стадиях проектирования. Применение методики показано на примере решения задачи проектирования композиционного кронштейна навески интерцептора пассажирского самолёта. Сравнение спроектированного кронштейна из слоистого тканевого композита с металлическим аналогом показало значительное снижение массы кронштейна.

**Ключевые слова:** проектирование, конструкция, слоистый тканевый композит, углепластик, цифровая модель, конструктивно-технологическая группа, оптимизация, генетический алгоритм.

**Цитирование:** Павлов А.А. Конструкторско-технологическое проектирование деталей из слоистого тканевого композита // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.393-404. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-393-404.

**Благодарности:** автор выражает признательность научному руководителю профессору Комарову В.А. и членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию в части «Разработка методики прогнозирования и повышения несущей способности аэрокосмических конструкций из слоистых композитов с учётом физической нелинейности материала» (проект FSSS-2020-0016).

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

### Введение

В последние десятилетия более 80% инновационных разработок в сфере авиационной техники базируется на внедрении новых конструкционных материалов и технологий их производства [1, 2]. Использование современных высокопрочных композиционных материалов позволяет обеспечить высокие функциональные характеристики и весовую эффективность авиационных конструкций, снизить материалоемкость, продолжительность создания и стоимость жизненного цикла изделий [3].

В настоящее время доля слоистых композиционных материалов в силовых конструкциях планера современных пассажирских самолётов достигает 50% и с каждым годом увеличивается [4, 5]. Однако сфера применения слоистых композитов, армированных непрерывными волокнами, пока ещё ограничена тонкостенными несущими конструкциями. Данный класс

конструкций воспринимает, в основном, распределённые аэродинамические силы. При этом в авиационной технике присутствует класс деталей (кронштейны, фитинги и др.), воспринимающие сосредоточенные усилия, в которых анизотропные свойства слоистых композитов, как правило, реализуются не в полной мере. Подобные пространственно-нагруженные детали сложной формы представляют интерес с позиций развития методов проектирования композитных конструкций и являются объектом исследования в данной статье.

Общей проблемой для композитных изделий является необходимость проектировать одновременно конструкцию, структуру материала и технологию изготовления. При проектировании композитных конструкций термин «структура» используется в двух понятийных ситуациях – при выборе элементов силовой схемы [6] и описании параметров слоистого композита (типа, количества и направления укладки слоёв армирующего материала) [7].

В традиционном подходе к проектированию авиационных конструкций, в том числе композиционных, технологическая проработка изделия осуществляется после этапа выбора силовой схемы [8]. Технология производства композитных деталей может оказывать существенное влияние на выбор элементов силовой схемы конструкции и, как следствие, требовать её доработки с уточнением взаимосвязанных параметров и последующего внесения конструктивных и технологических изменений.

Активное внедрение цифровизации различных видов инженерной деятельности позволило существенно сократить время разработки изделий – от идеи до практической реализации. В статье «Точное проектирование» [9] описано перспективное направление развития методов проектирования на основе использования высокоточного моделирования и элементов оптимизации на ранних стадиях разработки конструкций. В контексте разработки композитных конструкций данная проектная парадигма позволяет заменить обширные экспериментальные исследования, провести которые не всегда представляется возможным и целесообразным, на использование последовательности цифровых математических моделей, существенно сократив сроки разработки изделий.

В зарубежной практике для проектирования композитных конструкций активно используется методика проектирования, называемая «*Building Block Approach (BBA)*» [10]. Концепция *BBA* предусматривает использование экспериментальных данных и подробных математических моделей на различных стадиях проектирования. Данный подход обеспечивает формирование требуемого объёма сведений об используемом материале для обоснования уровня безопасности силовых элементов, выполненных из композиционных материалов.

Рассматриваемые концепции цифрового проектирования обеспечивают возможность адекватного прогнозирования поведения композитных конструкций на конечных этапах производства и в эксплуатации, существенно сократив затраты времени и средств на испытания и доводки [9].

Одной из ключевых задач проектирования силовых композитных конструкций является учёт технологических особенностей создания изделий со слоистой структурой. В связи с этим актуальной задачей является разработка подхода к выбору из множества проектных временных наиболее значимых, которые обеспечивают технологическую осуществимость конструкции минимальной массы.

Цель данной статьи – показать практическое применение методики «точного проектирования» конструкций сложной формы из слоистых тканевых композитов.

## 1 Постановка проектной задачи

Задача проектирования формулируется следующим образом: *необходимо спроектировать конструкцию детали минимальной массы, которая удовлетворяет требованиям проч-*

ности при действии расчётной нагрузки и может быть технологически осуществима из слоистых композиционных материалов.

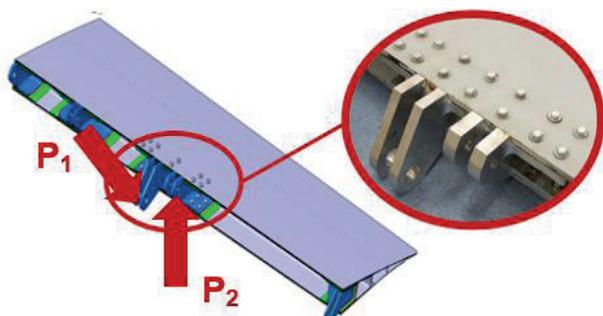


Рисунок 1 – Центральный кронштейн навески композитного интерцептора



Рисунок 2 – Конструкция металлического кронштейна навески интерцептора

Не снижая методологической общности подхода, можно рассмотреть задачу проектирования композитного кронштейна навески интерцептора современного пассажирского самолёта (см. рисунок 1). Особенность рассматриваемого кронштейна навески состоит в том, что основные сосредоточенные силы, действующие на него, не лежат в одной плоскости.

Разработка рациональной конструкции металлического кронштейна навески интерцептора (см. рисунок 2) проводилась в 2011 г. на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета под руководством профессора В.А. Комарова [11]. Конструктивно-силовая схема (КСС) металлической детали была получена с использованием метода тела переменной плотности [12]. Масса спроектированного кронштейна из высокопрочного сплава В95 составила 1200 г. Данное техническое решение было получено с применением современных технологий проектирования, обладает высокой весовой эффективностью и использовалось в данной работе как эталон для композитной конструкции.

В терминах нелинейного математического программирования задача оптимального проектирования композитного кронштейна может быть записана следующим образом: необходимо определить вектор  $X^*$ , при котором целевая функция

$$f(X^*) \leq f(X) \forall X \in \Omega, \quad (1)$$

где  $\Omega = \{X : g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m\}$  – область допустимых проектов;

$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}^T$  – вектор проектных переменных  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$ ,

$g_j(X)$  – функциональные ограничения.

*Критерий оптимальности* в рассматриваемой задаче - масса конструкции кронштейна.

В отличие от проектирования конструкций из однородных материалов при переходе на слоистые композиты необходимо выбрать способ описания КСС конструкции с учётом возможности технологии её изготовления. Для решения этой задачи *проектные переменные* разделены на два блока параметров: *геометрические*, которые определяют КСС, и *структурные*, которые определяют внутреннюю структуру композиционного материала. В случае слоистых тканевых композитов структурные проектные переменные учитывают количество и направление укладки слоёв ткани и являются дискретными, диапазон изменения которых задаётся в виде ограничений:

$$a \leq x_i \leq b, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – минимальные и максимальные значения проектных переменных.

Функциональные ограничения определяют область допустимых проектов. В инженерной практике для слоистых композитов в качестве функциональных ограничений используются безразмерные критерии прочности [13, 14] в виде неравенств

$$\varphi(\sigma, [\sigma]) \leq 1, \quad (3)$$

где  $\varphi(\sigma, [\sigma])$  – функция компонент тензора напряжений  $\sigma$  и соответствующего набора их допускаемых значений  $[\sigma]$ . Считается, что конструкция не разрушается, если условие (3) выполняется в каждом её элементе.

В данной работе в качестве функционального ограничения рассматривается распространённый критерий максимальных напряжений, который прост и нагляден, так как каждая составляющая отвечает за восприятие «своего» напряжения, что позволяет предсказать не только разрушающую нагрузку, но и форму разрушения.

## 2 Конструкторско-технологическое проектирование

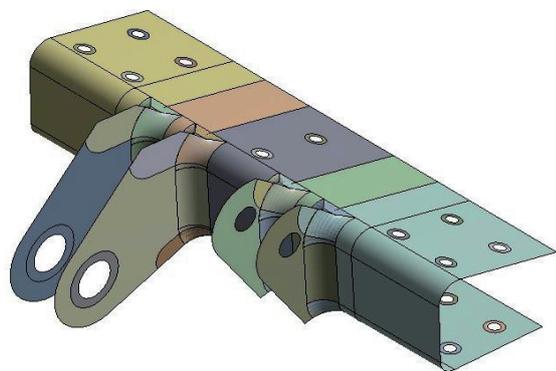
При постановке задачи оптимального проектирования композитной конструкции для имеющейся КСС важным этапом является выбор проектных переменных. Основная сложность данного этапа заключается в том, что параметры слоистой структуры необходимо связать с элементами КСС. При использовании традиционных подходов к проектированию привязка структурных параметров осуществляется непосредственно к поверхностям геометрической модели, т.е. путём «наращивания» материала. В этом случае композитная конструкция может быть технологически неосуществима из-за несовместности силовой работы контактирующих групп слоёв на сопрягаемых поверхностях. В связи с этим возникает необходимость в адаптации геометрической модели конструкции к особенностям производства изделий из слоистых композитов.

С этой целью проводится анализ поверхностной геометрической модели КСС, которая разбивается на ряд конструктивно-технологических групп (КТГ).

Поверхностная геометрическая модель детали представляет собой совокупность базовых поверхностей, формирующих её будущий облик. Для описания геометрической модели используется граничное представление описания геометрической формы [15]. Для обеспечения простоты технологической реализации композитной конструкции предпочтительнее использовать поверхности одинарной кривизны с использованием угловых и тавровых соединений.

В рассматриваемом примере геометрическую модель кронштейна навески интерцептора рациональной КСС целесообразно представить в виде двух базовых поверхностей (верхней и нижней полок) с отверстиями под крепёжные элементы, четырёх поверхностей проушин с отверстиями под нагружающие элементы и вертикальной (передней) опорной стенки (см. рисунок 3). Опорные поверхности, на которых располагаются крепёжные элементы, являются плоскими. Плоскости проушин перпендикулярны передней стенке. Такую пространственную модель можно рассматривать как своего рода цифровой аналог теоретического чертежа, принятого в авиастроении [16].

Рисунок 3 – Поверхностная геометрическая модель описания силовой схемы конструкции



Разработанное цифровое представление силовой схемы конструкции позволяет сформировать КТГ путём объединения сопрягаемых поверхностей геометрической модели в от-

дельные элементы КСС. При этом разбиение модели на КТГ выполнено в соответствии с типом используемых армирующих материалов и связующего, а также конгруэнтности формы развёртки элементов группы. Схема декомпозиции изделия на КТГ должна обеспечивать как совместность силовой работы контактирующих групп, так и возможность пошаговой сборки на этапе изготовления.

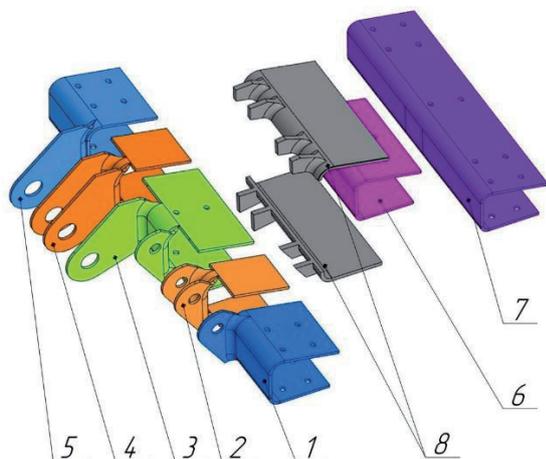


Рисунок 4 – Схема разбиения кронштейн навески интерцептора на КТГ

КТГ1-КТГ7 – ортотропный тканевый углепластик CC201/SR8100-SD8824. КТГ 8 представляет собой элементы усиления зоны радиального перехода между проушинами, передней стенкой и верхней/нижней полками. В качестве материала КТГ8 использована однонаправленная углеродная лента ЛУ-П/01. Выкладка слоёв КТГ8 осуществлялась послойно с чередованием слоёв КТГ1-КТГ5. Все КТГ имеют сгибы одинарной кривизны, позволяющие произвести развёртку групп на плоскости ткани без искажения и деформации армирующих нитей. В дальнейшем это обеспечивает соответствие структуры материала реального изделия структуре, заложенной в модели.

По результатам анализа КСС проектируемого кронштейна согласно изложенным принципам выделены 8 КТГ (см. рисунок 4), последовательная выкладка которых в технологическую оснастку позволяет получить интегральную композитную конструкцию, эффективно воспринимающую действующие нагрузки [17].

КТГ1-КТГ5 включают в себя поверхности проушин, передней стенки, а также верхней и нижней полок. Данный способ разбиения обеспечивает неразрывность волокон армирующего материала на пути потоков усилий от точки приложения нагрузки в проушинах до точек крепления на полках. КТГ6-КТГ7 включают в себя переднюю стенку и полки. Материал

### 3 Поиск рационального распределения материала

В соответствии с предлагаемым подходом структурные проектные переменные назначаются для каждой из сформированных КТГ. В качестве параметров могут выступать количество, тип и направление укладки пакета слоёв (однородная, ортогональная, перекрёстная, квазиизотропная), которые определяют технологическую осуществимость разрабатываемого изделия.

В композитных конструкциях наиболее часто используются квазиизотропная и ортотропная структуры укладки слоёв [18]. В случае использования сложных комбинаций упаковок вводятся дополнительные проектные переменные – угол ориентации и количество слоёв для составляющих комбинаций.

Для проектируемого композитного кронштейна схему армирования целесообразно подбирать на основе анализа картины распределения векторов главных напряжений в изотропной модели. Данное допущение вводится с целью упрощения процесса моделирования, но при этом даёт существенную информацию для выбора направления укладки армирующего материала слоистой конструкции.

На основе анализа картины распределения векторов главных напряжений рассматриваемого кронштейна (см. рисунок 5) сделан вывод о целесообразности использования в основном квазиизотропной структуры укладки слоёв.

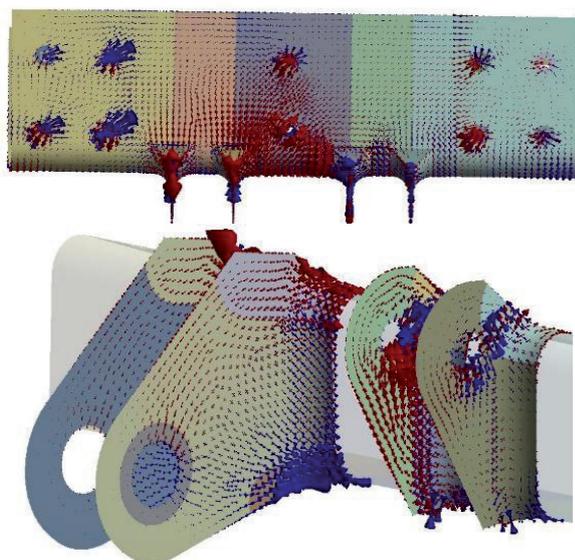


Рисунок 5 – Направления главных усилий в изотропной конструкции

В качестве основного конструкционного материала рассматривается слоистый углепластик CC201/SR8100-SD8824 на основе биаксиальной углеродной ткани полотняного плетения CC201 и двухкомпонентного эпоксидного связующего SR8100/SD8824. Для изготовления кронштейна использована технология RTM-формования. Свойства слоистого углепластика определялись экспериментально в лаборатории композиционных материалов и конструкций Самарского университета [19].

Предлагаемая схема разбиения композитных конструкций сложной формы на КТГ позволяет выделить из множества проектных переменных наиболее значимые. В данной работе в качестве основных задавались только структурные проектные переменные – количество слоёв с заданной

структурой армирования в каждой из КТГ.

В таблице 1 приведены проектные переменные и геометрические ограничения (2) на них в дискретной форме, т.е. определена область поиска. Выбранный вектор проектных переменных позволяет сформировать конечно-элементную модель (КЭМ) кронштейна со слоистой структурой со свойствами композиционного материала (см. рисунок 6).

Таблица 1 – Геометрические ограничения на проектные переменные

Проектная переменная	Наименование	Единица измерения	Шаг, $\Delta x_i$	Нижний предел, $a$	Верхний предел, $b$	Направление армирования
$x_1$	Количество слоёв в КТГ1	шт.	2	6	24	45
$x_2$	Количество слоёв в КТГ2	шт.	2	6	24	0
$x_3$	Количество слоёв в КТГ3	шт.	2	6	24	45
$x_4$	Количество слоёв в КТГ4	шт.	2	6	24	0
$x_5$	Количество слоёв в КТГ5	шт.	2	6	24	45
$x_6$	Количество слоёв в КТГ6	шт.	2	4	14	45
$x_7$	Количество слоёв в КТГ7	шт.	2	4	14	0
$x_8$	Количество слоёв в КТГ8	шт.	2	2	20	0

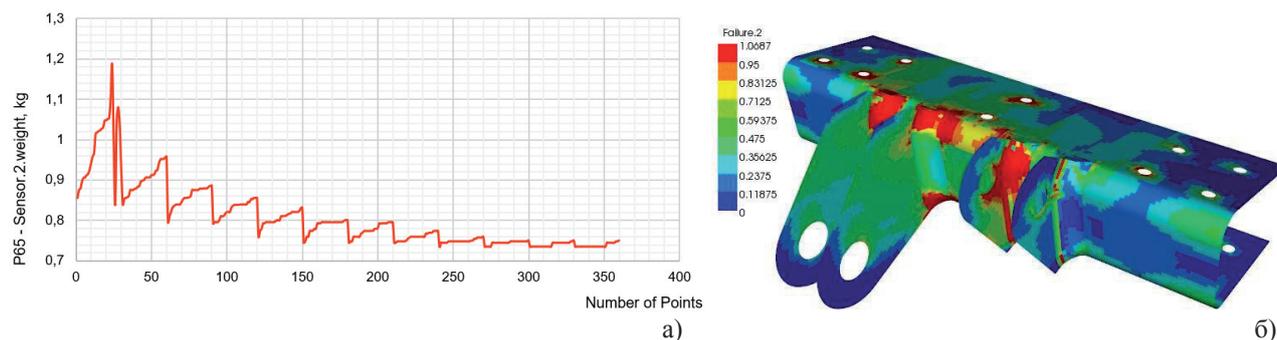


Рисунок 6 – Конечно-элементная модель со слоистой структурой (для наглядности визуализированы толщины элементов)

Особенностью данной 3D-модели является последовательность укладки слоёв, которая обеспечивает возможность технологической реализации композитной конструкции. Для рассматриваемого кронштейна построение КЭМ со слоистой структурой осуществлялось в специализированном модуле *ANSYS ACP PrePost*. Нарращивание слоёв передней стенки и полок осуществлялось от поверхности теоретического контура конструктивно-технологической модели внутрь конструкции, для проушин – в две стороны от опорной плоскости. При этом выкладка слоёв КТГ1-КТГ5 осуществлялась послойно с чередованием от центра (КТГ3) внахлёт с КТГ2 и КТГ4, а далее внахлёт со слоями КТГ1 и КТГ5 соответственно. Такой последовательный способ укладки слоёв позволяет наиболее эффективно передавать усилия на стыке КТГ.

Поиск рационального распределения материала в конструкции осуществлялся с использованием генетического алгоритма *MOGA (Multi Objective Genetic Algorithm)* [20]. Максимальное число популяций принималось равным 20. Одна популяция состояла из 35 особей. В качестве функциональных ограничений задавалось условие прочности по критерию максимальных напряжений. Критерием окончания оптимизации выступал признак сходимости (должен быть  $\leq 2\%$  доли особей, попадающих в область Парето, которая должна быть  $\geq 70\%$ ) [20]. Подбор рационального распределения структурных проектных переменных осуществлялся с использованием среды *ANSYS Direct Optimization*.

В процессе оптимизаций сгенерировано 9 популяций, причём значения массы конструкции (целевой функции) фиксировались на каждой итерации (см. рисунок 7а). Картина распределения прочности показана на рисунке 7б.



а – изменение целевой функции (массы) в процессе оптимизации;

б – картина распределения максимальных напряжений в рациональной композитной конструкции

Рисунок 7 – Результаты оптимизации конструкции кронштейна

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что разработанная конструкция кронштейна навески интерцептора удовлетворяет требованиям прочности во всех элементах конструкции.

Таблица 2 – Рациональные значения проектных переменных в композитном кронштейне

Проектная переменная	Наименование	Единица измерения	Значение
$x_1$	Количество слоёв в КТГ1	шт.	10
$x_2$	Количество слоёв в КТГ2	шт.	12
$x_3$	Количество слоёв в КТГ3	шт.	24
$x_4$	Количество слоёв в КТГ4	шт.	12
$x_5$	Количество слоёв в КТГ5	шт.	10
$x_6$	Количество слоёв в КТГ6	шт.	8
$x_7$	Количество слоёв в КТГ7	шт.	8
$x_8$	Количество слоёв в КТГ8	шт.	10

В результате оптимизации получен вектор проектных переменных (см. таблицу 2), который обеспечивают технологическую осуществимость разрабатываемой конструкции.

Полученный вектор рациональных значений проектных переменных определяет цифровую модель кронштейна навески

интерцептора, масса которого составила 751 г. (см. рисунок 8).

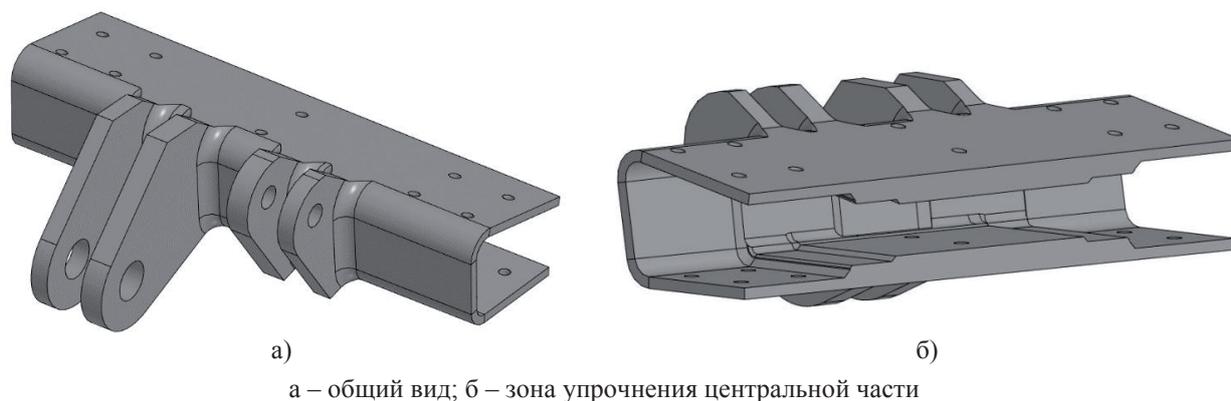


Рисунок 8 – Итоговая 3D-модель кронштейна навески интерцептора

#### 4 Верификация разработанного подхода

Для экспериментальной оценки результатов проектирования композитного кронштейна навески интерцептора изготовлен и испытан опытный образец.

Изготовление композитного кронштейна осуществлялось методом *RTM*-формования. Для обеспечения заданной геометрической формы будущей заготовки использовалась специально разработанная технологическая оснастка (см. рисунок 9). Особенностью данной оснастки является использование разъёмных закладных элементов, которые позволяют обеспечить одновременно точность выполнения геометрических параметров конечного изделия и технологичность работы с заготовкой. Общий вид полученного композитного кронштейна навески интерцептора после механической обработки показан на рисунке 9в.

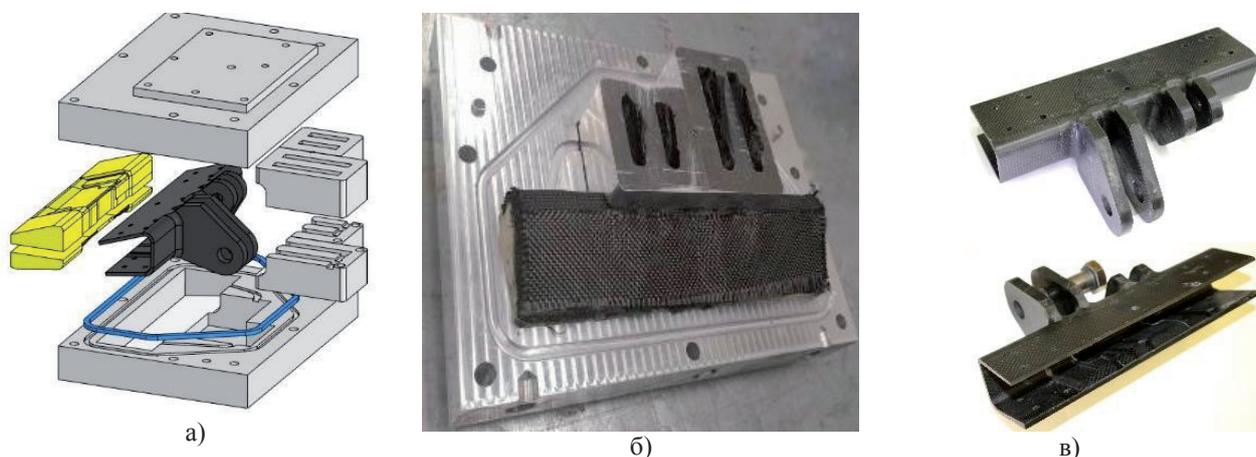


Рисунок 9 – Изготовление композитного кронштейна навески интерцептора

Испытания композитного кронштейна проводились с использованием специальной оснастки<sup>1</sup>, имитирующей интерцептор крыла самолёта (см. рисунок 10). Установка кронштейна в испытательную оснастку осуществлялась при помощи болтового соединения. Нагружение кронштейна осуществлялось перемещением гидравлического штока испыта-

<sup>1</sup> Оснастка спроектирована и разработана Чарквиани Р.В. и Чарквиани Г.В. под руководством профессора Комарова В.А. для испытаний металлического кронштейна.

тельной машины. Общий вид композитного кронштейна, установленного в испытательном стенде, показан на рисунке 10а. Нагружение кронштейна в процессе испытаний осуществлялось со скоростью 5 мм/мин до разрушения.



а – испытательная машина и оснастка; б – зона разрушения конструкции

Рисунок 10 – Результаты испытаний опытного образца композитного кронштейна

Результаты испытаний показали, что разрушающее усилие для композитного кронштейна навески составило 11 759 Н, что соответствует 98% расчётной нагрузки. Разрушение кронштейна произошло в зоне радиального стыка проушин активатора и передней стенкой (см. рисунок 10б). Таким образом, результаты испытаний композитного кронштейна навески и характер его разрушения показывают практически полное совпадение с данными математического моделирования. Использование слоистого углепластика позволило снизить массу, по сравнению с исходным металлическим кронштейном навески интерцептора, на 35%.

## Заключение

Полученные результаты проектирования, изготовления и испытания композитного кронштейна навески интерцептора показали практическое применение методики «точного проектирования».

Предложенный способ группирования элементов конструкций сложной формы в КТГ позволяет выделить из множества проектных переменных наиболее значимые, которые обеспечивают технологическую осуществимость разрабатываемой конструкции и возможность поиска рационального распределения материала.

## Список источников

- [1] **Каблов Е.Н.** России нужны материалы нового поколения. *Редкие земли*. 2014. №3. С.8-13.
- [2] **Дежина И., Пономарев А.** Перспективные производственные технологии: новые акценты в развитии промышленности. Форсайт. М.: ВШЭ, 2014. Т.8, №2. С.16-29.
- [3] **Мэттьюз Ф., Роллингс Р.** Мир материалов и технологий. Композиционные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
- [4] **Smirnov M.Y., Gubenko A.V., Ksenofontova T.Y., Staroselets V.G.** Comparative Analysis of Innovative Materials. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol.12. Issue 3. P.394-401.
- [5] **Савин С.П.** Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера самолетов семейства МС-21. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т.14, №4(2). С.686-693.
- [6] **Комаров В.А.** Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы. *Онтология проектирования*. 2017. Т.7, №2(24). С.191-206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [7] **Vasiliev V.V., Morozov E.V.** Advanced mechanics of composite materials and structural elements. Kidlington, Oxford: Elsevier, 2013. 818 p.

- [8] **Ендогур А.И.** Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов. М.: Изд-во МАИ, 2013. 556 с.
- [9] **Комаров В.А.** Точное проектирование. *Онтология проектирования*. 2012. №3. С.8–23.
- [10] **Carello M., Amirth N., Airale A.G., Monti M., Romeo A.** Building Block Approach for Structural Analysis of Thermoplastic Composite Components for Automotive Applications. *Applied Composite Materials*. 2017. Vol.24 P.1309-1320.
- [11] **Комаров В.А., Кишов Е.А., Чарквиани Р.В.** Топологическая оптимизация в проектировании высоконагруженных узлов авиационных конструкций. *Общероссийский научно-технический журнал «Полёт»*. 2018, №8. С.16-23.
- [12] **Komarov V.A., Kishov E.A., Kurkin E.I.** Aircraft Composite Spoiler Fitting Design Using the Variable Density Model. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 65. P.99-106.
- [13] **Викарио А., Толанд Р.** Критерии прочности и анализ разрушения конструкций из композиционных материалов. Сборник «Композиционные материалы». М.: Машиностроение. 1978 Т.8. С.62-107.
- [14] **Башаров Е.А., Ерков А.П.** Метод расчёта многослойного пакета из полимерного композиционного материала с учётом выбора критерия прочности. *Общероссийский научно-технический журнал «Полёт»*. 2018. Т.6. С.39-53.
- [15] **Голованов Н.Н.** Геометрическое моделирование. М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. 472 с.
- [16] **Комаров В.А., Кишов Е.А., Лайкова О.Г., Павлов А.А.** Цифровое проектирование терморазмеростабильных конструкций из слоистого углепластика. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2021. Т.20, №2. С.63-70.
- [17] **Халиулин В.И., Батраков В.В.** Анализ применения инновационных методов для производства интегральных конструкций из композитов. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2016. №3. С.129-133.
- [18] **Батаев А.А., Батаев В.А.** Композиционные материалы: строение, получение, применение. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 384 с.
- [19] **Комаров В.А., Павлов А.А., Павлова С.А.** Экспериментально-аналитическое определение упругих характеристик слоистого тканевого композита. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2022. Т.21, №2. С.65-79.
- [20] **Grebenisan G., Salem N.** The multi-objective genetic algorithm optimization of a superplastic forming process using ANSYS. *MATEC Web of Conferences*, 2017. 35 p.
- 

## Сведения об авторе



**Павлов Александр Александрович**, 1992 г. рождения. В 2015 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) по специальности 22.03.05 «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции». В 2021 году окончил аспирантуру Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва (Самарский университет) по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов». Инженер научно-образовательного центра авиационных конструкций (НОЦ-202) Самарского университета. В списке научных трудов более 20 работ в области проектирования и оптимизации композитных конструкций. [alex-alex.pavlov@yandex.ru](mailto:alex-alex.pavlov@yandex.ru).

---

Поступила в редакцию 29.08.2022, после рецензирования 5.09.2022. Принята к публикации 11.09.2022.

---



## Technological design of parts using layered fabric composite

© 2022, A.A. Pavlov

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

### Abstract

The article considers the features of solving the problem of designing complex shape constructions made from layered fabric composites considering the triad "material-technology-construction". Based on the developed models, the design problem is formulated in terms of non-linear mathematical programming. The novelty is the approach to choosing the main design variables by dividing the digital model of the product into structural and technological groups, which provide a quick and visual search for a rational distribution of material in the structure using a genetic optimization algorithm. The proposed approach is a development of the "precision design" methodology. It ensures the technological feasibility of composite items with a layered structure and their high weight return with minimal modifications at the early stages of design. The application of the technique is shown on the example of solving the problem of designing a composite bracket for the spoiler hinge of a modern passenger aircraft. Comparison of the designed bracket made of a layered fabric composite with a metal counterpart showed a significant reduction in the weight of the bracket.

**Key words:** design, construction, layered fabric composite, carbon-fiber reinforced plastic (CFRP), digital model, constructive and technological group, optimization, genetic algorithm.

**For citation:** Pavlov AA. Technological design of parts using layered fabric composite [In Russian]. *Ontology of designing* 2022; 12(3): 393-404. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-393-404.

**Acknowledgment:** The author expresses his gratitude to the scientific adviser Professor Komarov V.A. and the members of the Editorial Board who made comments and recommendations for improving this manual.

**Financial Support:** The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education as part of the work under the State task in the part "Development of a methodology for predicting and increasing the bearing capacity of aerospace structures from layered composites, taking into account the physical nonlinearity of the material" (project FSSS-2020-0016).

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

### List of figures and tables

- Figure 1 – Central mounting bracket for composite spoiler
- Figure 2 – Construction of the metal bracket of the spoiler hinge
- Figure 3 – Surface geometric model for describing the load-carrying scheme of a structure
- Figure 4 – Scheme of splitting the spoiler mounting bracket into structural and technological groups
- Figure 5 – Directions of the main stresses flows in an isotropic design
- Figure 6 – Finite element model with layered structure
- Figure 7 – Optimization results
- Figure 8 – Final 3D model of the composite bracket
- Figure 9 – Composite bracket manufacturing process
- Figure 10 – Composite bracket test results
- Table 1 – Geometric Constraints on Design Variables
- Table 2 – Rational distribution of material in the composite bracket

### References

- [1] *Kablov EN.* Russia Needs New Generation Materials [In Russian]. *Rare Earths.* 2014; 3: 8-13.
- [2] *Dezhina I, Ponomarev A.* Perspective production technologies: new accents in the development of industry [In Russian]. *Foresight.* 2014; 8(2): 16-29.

- [3] **Matthews F, Rollings R.** World of Materials and Technologies. Composite materials. Mechanics and technology [In Russian]. Moscow: Technosfera, 2004. 408 p.
- [4] **Smurov MY, Gubenko AV, Ksenofontova TY, Staroselets VG.** Comparative Analysis of Innovative Materials. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017; 12(3): 394-401.
- [5] **Savin SP.** The use of modern polymer composite materials in the airframe constructions of the MC-21 family [In Russian]. *Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012; 14(4): 686-693.
- [6] **Komarov VA.** Theoretical basis for design of load-bearing structures produced using additive technologies [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017; 7(2): 191-206. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [7] **Vasiliev VV, Morozov EV.** Advanced mechanics of composite materials and structural elements. Kidlington, Oxford: Elsevier, 2013. 818 p.
- [8] **Endogur AI.** Airframe structural design. Design of structures of parts and assemblies [In Russian]. Moscow: MAI Publishing House, 2013. 556 p.
- [9] **Komarov VA.** Concurrent design [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 3: 8 – 23.
- [10] **Carello M, Amirath N, Airale AG, Monti M, Romeo A.** Building Block Approach' for structural analysis of thermoplastic composite components for automotive applications. *Applied Composite Materials*. 2017; 24: 1309-1320.
- [11] **Komarov VA, Kishov EA, Charkviani RV.** Topological optimization in the design of highly loaded units of aircraft structures [In Russian]. All-Russian Scientific and Technical Journal "Flight". 2018; 8: 16-23.
- [12] **Komarov VA, Kishov EA, Kurkin EI.** Aircraft Composite Spoiler Fitting Design Using the Variable Density Model. *Procedia Computer Science*. 2015; 65: 99-106.
- [13] **Vicario A, Toland R.** Strength criteria and failure analysis of structures made of composite materials [In Russian]. Collection "Composite materials". Moscow: Mashinostroenie. 1978. Vol.8. P.62-107.
- [14] **Basharov EA, Erkov AP.** A method for calculating a multilayer package made of a polymer composite material, taking into account the choice of strength criterion [In Russian]. All-Russian Scientific and Technical Journal "Flight". 2018; 6: 39-53.
- [15] **Golovanov NN.** Geometric modeling [In Russian]. Moscow: Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 2002. 472 p.
- [16] **Komarov VA, Kishov EA, Laikova OG, Pavlov AA.** Digital design of heat-resistant dimensionally stable carbon laminate (CFRP) structures [In Russian]. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2021; 20(1): 75-86. DOI: 10.18287/2541-7533-2021-20-1-75-86.
- [17] **Khaliulin VI, Batrakov VV.** Analysis of the application of innovative methods for the production of integral structures from composites [In Russian]. *Izvestia of higher educational institutions. Aviation technology*. 2016; 3: 129-133.
- [18] **Bataev AA, Bataev VA.** Composite materials: structure, production, application [In Russian]. Novosibirsk: Publishing House of NGTU, 2002. 384 p.
- [19] **Komarov VA, Pavlov AA, Pavlova SA.** Experimental and analytical determination of the elastic characteristics of layered woven composites [In Russian]. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2022; 21(2): 65-79. DOI: 10.18287/2541-7533-2022-21-2-65-79.
- [20] **Grebenisan G, Salem N.** The multi-objective genetic algorithm optimization of a superplastic forming process using ANSYS. *MATEC Web of Conferences*, 2017. 35 p.

---

## About the author

**Alexander Alexandrovich Pavlov** (b. 1992). In 2015, he graduated from the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University) with a degree in Automated product lifecycle management. In 2021, he completed his postgraduate studies at the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Samara National Research University named after academician S.P. Korolev" (Samara University), with a degree in Design, construction and production of aircraft. Engineer of the Scientific and Educational Center for Aviation Structures (REC-202) of Samara University. The list of scientific papers includes more than 20 works in the field of design and optimization of composite structures. [alex-alex.pavlov@yandex.ru](mailto:alex-alex.pavlov@yandex.ru).

---

Received August 29, 2022. Revised September 5, 2022. Accepted September 11, 2022.

---



## Построение карт потока создания ценности на основе онтологического подхода

© 2022, С.С. Акимов ✉, Б.К. Жумашева

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

### Аннотация

Цель работы – оценка и повышение эффективности работы производственного предприятия посредством разработки и внедрения карты потока создания ценности. Проведён анализ метода карт потока создания ценностей, выявлены его недостатки и особенности. Построена карта потока создания ценностей текущего состояния производственного процесса и сделан вывод о том, что карта позволяет улучшить данный процесс потока. На основе анализа частного случая сети Петри показана необходимость в определении объектов, взаимосвязей и отношений инцидентности. Основные объекты определены посредством построения фреймовой модели взаимодействия ключевых параметров производства. Взаимосвязи между объектами и отношения инцидентности выявлены при помощи построения онтологической модели. Анализ построения карт потока создания ценностей позволил выявить пять видов затрат времени. Для снижения времени перемещения, времени загрузки-выгрузки и ликвидации простоев предложено использовать сети Петри с применением циклограмм.

**Ключевые слова:** карта потока создания ценности, промышленное производство, фреймовая модель, онтология, WF-сеть, циклограммы.

**Цитирование:** Акимов С.С., Жумашева Б.К. Построение карт потока создания ценности на основе онтологического подхода // *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №3(45). С.405-417. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-405-417.

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

### Введение

Для усиления конкурентных преимуществ современные производственные предприятия используют систему бережливого производства [1], которая позволяет выявлять и устранять разнообразные производственные потери (простои, брак, перепроизводство и т. д.).

Одним из методов бережливого производства является построение карт потока создания ценности (КПСЦ). КПСЦ основана на представлении производственного процесса (ПП) как непрерывного потока создания определённой ценности для потребителя продукции предприятия. Поток ценности представляет собой результаты выполнения различных материальных и нематериальных операций, направляемые от одной операции к другой [2]. Данный инструмент был разработан японской компанией *Toyota*, а с конца XX в. нашёл широкое распространение и за пределами Японии [3]. В настоящее время всё больше производственных компаний начинают внедрять данный метод в своей деятельности.

Формирование КПСЦ путём соединения всех операций и процессов является универсальным способом управления эффективностью организации [4]. Используя КПСЦ, руководители предприятий стремятся решить несколько важнейших задач:

- увеличение скорости потока создания ценности;
- обеспечение равномерности и непрерывности потока создания ценности;
- устранение разного рода потерь.

В статье предлагается усовершенствование метода КПСЦ посредством совместного учёта работы оборудования, персонала и обеспечения инструментами и материалами. Для этого используются *WF*-сети (англ. *Well-Formed network*, «хорошо сформированная сеть» или сеть потоков работ) и циклограммы потоков работ, которые позволяют наглядно отобразить все затраты времени в ПП.

## 1 Процесс построения КПСЦ

Проектирование КПСЦ начинается с анализа текущей производственной ситуации [5]. Построение КПСЦ начинается с нижнего уровня – уровня ПП, рассмотренного в мельчайших деталях. На создаваемую КПСЦ наносятся наименования обобщённых процессов, при этом не указывается шаговая составляющая процесса (процесс может быть обозначен одним словом или словосочетанием).

Под «*поток*ом» понимается процесс движения производимого изделия по технологической линии от одной операции к другой согласно технологии производства. Согласно методу КПСЦ всю совокупность манипуляций, производимых с изделием, можно разделить на процессы, создающие ценность, и процессы, не несущие такой функции. Руководство производственного предприятия должно стремиться сокращать процессы, не создающие ценности, как в количественном, так и во временном измерении.

*Создание ценности* – это устоявшийся термин, который применяется ко всему производственному потоку, и включает в себя весь ПП превращения заготовки или полуфабриката в готовое изделие. Конкретные операции или процессы, создающие ценность, определяются как процессы, «*добавляющие ценность*» [6].

Процесс непосредственно обработки изделия на какой-либо единице оборудования называется «*тактом*» [7]. Время такта – это время, затрачиваемое на обработку изделия на каком-либо станке. Помимо времени такта, которое признаётся как создающее ценность, выделяют также время, затрачиваемое на перемещение заготовки изделия от одной единицы оборудования к другой – «*время перемещения*». Время перемещения не придаёт непосредственной ценности изделию, и потому его необходимо минимизировать [8]. Время такта и время перемещение заготовки изделия к следующей единице оборудования в сумме определяется как «*время цикла*» [9].

Построение определённого потока выполняется непосредственно для конкретного производства без учёта различных внешних факторов, за исключением данных о поставке в случае, если сырьё попадает в производство сразу же, минуя склад. Производственное предприятие заинтересовано в полном отображении всего ПП на КПСЦ, поскольку от этого зависит оптимизация данного процесса [10, 11].

Как только весь поток на производстве становится полностью отображённым, можно изменить уровень детализации, увеличив на карте каждый шаг внутри процесса или пытаясь охватить внешний поток создания ценности [12].

Необходимым условием при составлении КПСЦ является хронометраж. Для этого тщательно замеряется время каждой процедуры, каждого конкретного процесса, начиная с времени работы первой единицы оборудования и заканчивая перемещением готовых изделий в складские помещения или к покупателю.

КПСЦ является универсальным инструментом, который позволяет получить наглядные данные о ПП и выявить новые возможности для его совершенствования:

- увидеть не только конкретный ПП, но и весь поток сопутствующих операций;
- указать размеры потерь и их источники в потоке создания ценности;
- описать различные ПП в доступной форме;

- показать связь между материальными и информационными потоками [13].  
Анализ показал, что при построении КПСЦ возникают следующие проблемы:
- КПСЦ не содержат чёткой методологии исправления выявленных недостатков; сам процесс выявления недостатков не структурирован, не имеет чётких разграничений, что приводит к сложности проведения оптимизационных мероприятий;
- КПСЦ отображает процессы, но не оборудование, на котором эти процессы могут быть выполнены, что не позволяет рассчитать потенциал оборудования, с целью оптимизации ПП;
- КПСЦ не отображает людские ресурсы, количество персонала, его качественный состав и квалификацию.

Перечисленные проблемы показывают необходимость детального изучения ПП с целью выявления всех объектов, оказывающих влияние на его эффективность, а также связей между ними. Для решения поставленной задачи применяют ряд методов, среди которых можно выделить построение фреймовых моделей и онтологических сетей [14].

## 2 Разработка КПСЦ

Процесс построения КПСЦ сводится к последовательному выполнению ряда этапов и позволяет получить точное представление о том, какие операции нуждаются в усовершенствовании в первую очередь. Итоговым результатом является повышение эффективности деятельности предприятия [15].

При построении КПСЦ выполняются следующие действия:

1) *определение целей улучшения*. Построение КПСЦ начинается с определения целей по улучшению процесса производства. Направлениями улучшения могут быть:

- повышение уровня безопасности производства;
- улучшение качества продукции;
- повышение производительности труда;
- повышение скорости выпуска продукции;
- налаживание дисциплины поставок;
- разработка гибкой системы производства;
- снижение себестоимости продукции;
- повышение уровня адаптивности производства.

Рекомендуется устанавливать не более 1-2 задач для одного конкретного проекта, чтобы не растрчивать ограниченные ресурсы на решение множества проблем. Далее следует сформировать показатели, по которым будет оцениваться текущий проект.

2) *выбор семейства продуктов*. Необходимо выбирать семейство продуктов, что снизит количество разрабатываемых карт. Выбор семейства продуктов является очень трудоёмким процессом. Базовым следует выбирать продукт, который охватывает большое количество производственных этапов, представляет ценность для потребителей и пользуется спросом.

3) *отображение основных этапов производства*. Построение следует начинать с последнего этапа, после которого продукция попадает к потребителю, и постепенно переходить до начальной стадии производства.

4) *отображение движения материалов и информации*, в частности:

- поставки материалов;
- сроки погрузки и разгрузки материалов;
- расходные материалы;
- информационные потоки (команды, распоряжения, коммуникация и т.д.).

5) *фиксирование параметров процессов*. Фиксируются количественные показатели на каждом этапе производства, такие как:

- готовые изделия;
- комплектующие;
- запасы материалов;
- брак;
- простои в работе;
- временные затраты.

Показатели выбираются в зависимости от поставленных целей.

б) *обнаружение и оценка потерь производства* [16].

Процесс разработки КПСЦ показан на примере АО «Завод бурового оборудования». В качестве объекта исследования выбран процесс сборки изделия «труба бурильная стальная универсальная (ТБСУ)». ТБСУ применяются при поисках и разведке на твердые полезные ископаемые и воду для бурения скважин колонковым и бескерновым способом твёрдосплавными и алмазными коронками, долотами всех видов, в том числе с применением забойных гидро- и пневмоударников; при инженерно-геологических изысканиях; в строительстве.

Построение КПСЦ начинается с уровня производственного потока ценностей на предприятии «от двери до двери». На эту карту наносятся названия обобщённых процессов, таких как «сборка» или «сварка». Выполнение полного отображения потока на предприятии даёт основу для изменения уровня детализации, для чего необходимо увеличить на КПСЦ каждый шаг внутри процесса, пытаясь при этом охватить внешний поток создания ценности, поступающий на предприятие [17].

Для построения КПСЦ необходимо детально рассмотреть производственные операции, проводимые на предприятии, характеризующиеся процессами, оборудованием и персоналом. Последовательность проведения технологических операций для сборки ТБСУ отображена в таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность проведения технологических операций для сборки ТБСУ

№ операции	Наименование операции	Применяемое оборудование	Обслуживающий персонал
1	Сварка трением	Станок для сварки трением	Сварщики трения
2	Отжиг током высокой частоты (ТВЧ) шва	Станок ТВЧ	Операторы отжига ТВЧ
3	Отжиг ТВЧ трубы	Станок ТВЧ	Операторы отжига ТВЧ
4	Контроль	Контрольный стеллаж	Контролеры
5	Упаковка	Упаковочный стеллаж	Упаковщики

В результате выполнения всех этапов построена карта текущего состояния для изготовления ТБСУ. Фрагмент карты существующего потока изготовления ТБСУ представлен на рисунке 1.

Полученная карта позволяет зафиксировать значительное количество временных потерь практически на каждой выполняемой операции. На каждой производственной стадии выполняют какую-либо обработку, получая заготовку для следующей операции. Заготовки вместо того, чтобы сразу попадать на следующую производственную стадию, попадают на склад, где могут находиться несколько дней и даже недель. В представленном фрагменте карты сборки трубы общее время цикла составляет чуть более часа (62,35 минут), тогда как всё затраченное время оценено более чем в 29 рабочих дней, что составляет чуть более 220 часов. Это приводит к накоплению запасов в количестве от 50 до 375 штук. Наличие больших запасов снижает эффективность деятельности предприятия. Необходимо проводить оценку всех ПП, оказывающих влияние на поток ценности.

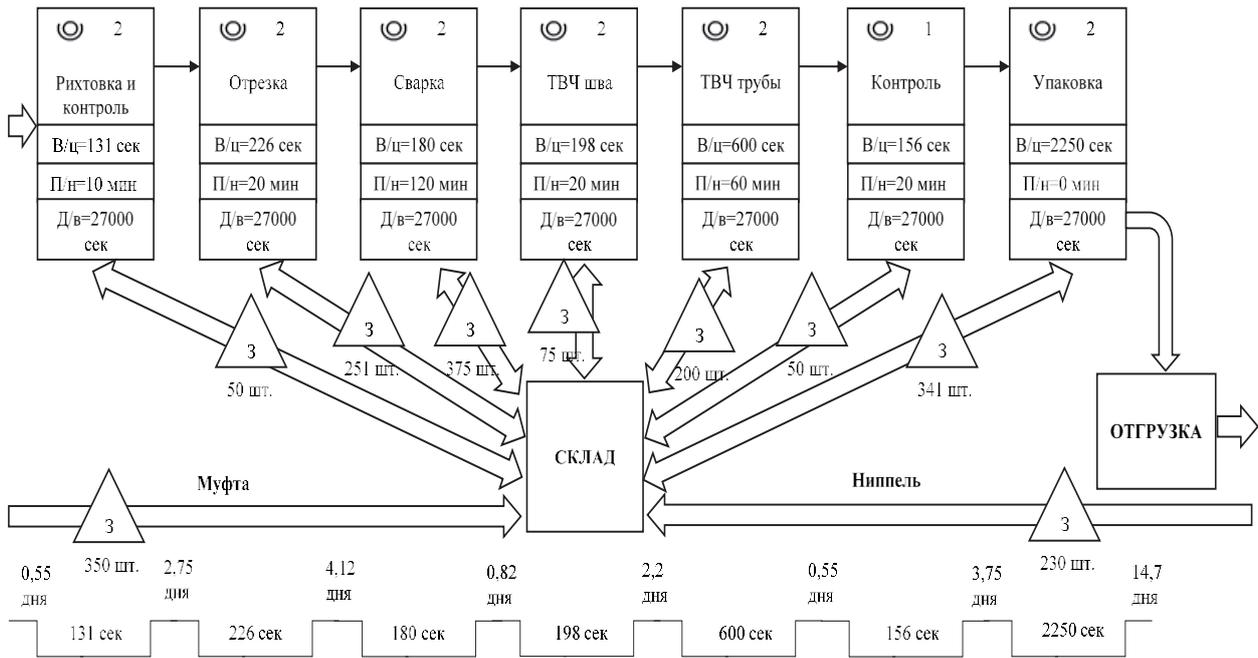


Рисунок 1 – Фрагмент карты существующего потока изготовления ТБСУ

### 3 Использование сетевых взаимодействий при анализе КПСЦ

Процесс разработки КПСЦ близок к моделированию и построению сети Петри с её частным случаем – построение *WF*-сети.

Информационная единица *WF*-сети задаётся следующим отношением:

$$W = \langle P, S, F \rangle, \tag{1}$$

где  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$  – множество объектов;

$S = \{s_1, \dots, s_n\}$  – множество взаимосвязей между объектами;

$F \subseteq P * S$  – отношение инцидентности.

Для *WF*-сети всегда выполняется следующий набор условий:

- существует только одна исходная позиция  $i$ , такая, что отсутствуют переходы, входящие в  $i$ ;
- существует только одна конечная позиция  $o$ , такая, что отсутствуют переходы, выходящие из  $o$ ;
- каждый узел данной сети расположен на пути от  $i$  к  $o$ .

*WF*-сети используются для проверки графов потоков работ на наличие таких структурных конфликтов, как «тупики» и «недостатки синхронизации». Структурные конфликты отсутствуют, если *WF*-сеть является бездефектной.

Свойство бездефектности или правильной завершаемости соответствует следующим требованиям:

- конечная позиция  $o$  достижима при любой последовательности переходов от позиции  $i$ ;
- *WF*-сеть не содержит лишних позиций (которые никогда не будут выполнены);
- при достижении конечной позиции данной сети не должно оставаться фишек в промежуточных позициях.

Анализ карты можно провести аналогично анализу *WF*-сети. Для этого необходимо определить объект проведения исследования и задать все ключевые параметры [18].

#### 4 Фреймовая модель объектов

Одним из действенных способов для определения объектов с учётом их многогранной структуры являются фреймовые модели представления. Фрейм представляет собой сопоставление значений для каждого атрибута изучаемого объекта. Такое представление позволяет описывать объекты разным количеством атрибутов, которые могут не согласовываться в рамках стандартных математических записей. Атрибуты, записанные во фрейме, называются слотами [19].

Построение фреймовых моделей, как правило, ведётся от большего к меньшему, т.е. необходимо сначала создать укрупнённый фрейм, а затем постепенно его детализировать.

Начальный, наиболее крупный фрейм, можно обозначить как «производство». Данный фрейм содержит в себе следующие слоты:

- помещение;
- оборудование;
- ПП;
- персонал;
- управление;
- готовая продукция.

Каждый из слотов данного фрейма не может быть описан какой-либо характеристикой или значением, является фреймом и содержит в себе следующие слоты.

Фрейм «помещение»:

- размер;
- занятая площадь;
- маршруты перемещения персонала.

Фрейм «оборудование»:

- вид;
- размер;
- конфигурация;
- количество;
- заготовка загружаемая;
- продукция выпускаемая;
- время обработки единицы продукции;
- количество обслуживающего персонала.

Фрейм «ПП»:

- производственные операции;
- настройка оборудования;
- необходимые инструменты;
- необходимые материалы.

Фрейм «персонал»:

- количество;
- квалификация.

Фрейм «управление»:

- конструкторская документация;
- план-график работ;
- приказы и распоряжения.

Фрейм «готовая продукция» представлен только слотом «количество».

Фреймовая диаграмма, построенная с учётом всех описанных фреймов, представлена на рисунке 2.

Во фрейме «помещение» субфреймом является только маршрут перемещения персонала, который характеризуется длиной. Поскольку в КПСЦ ключевой характеристикой является время, то перемещение учитывается временем, затрачиваемым работниками в процессе выполнения ими производственных функций.

Наиболее значимыми являются фреймы «оборудование» и «ПП». Во фрейме «оборудование» слоты «вид», «размер», «конфигурация» и «количество обслуживающего персонала» являются итоговыми атрибутами и зависят только от конкретных видов оборудования. «Заготовка загружаемая» и «продукция выпускаемая» характеризуются количеством и степенью обработки.

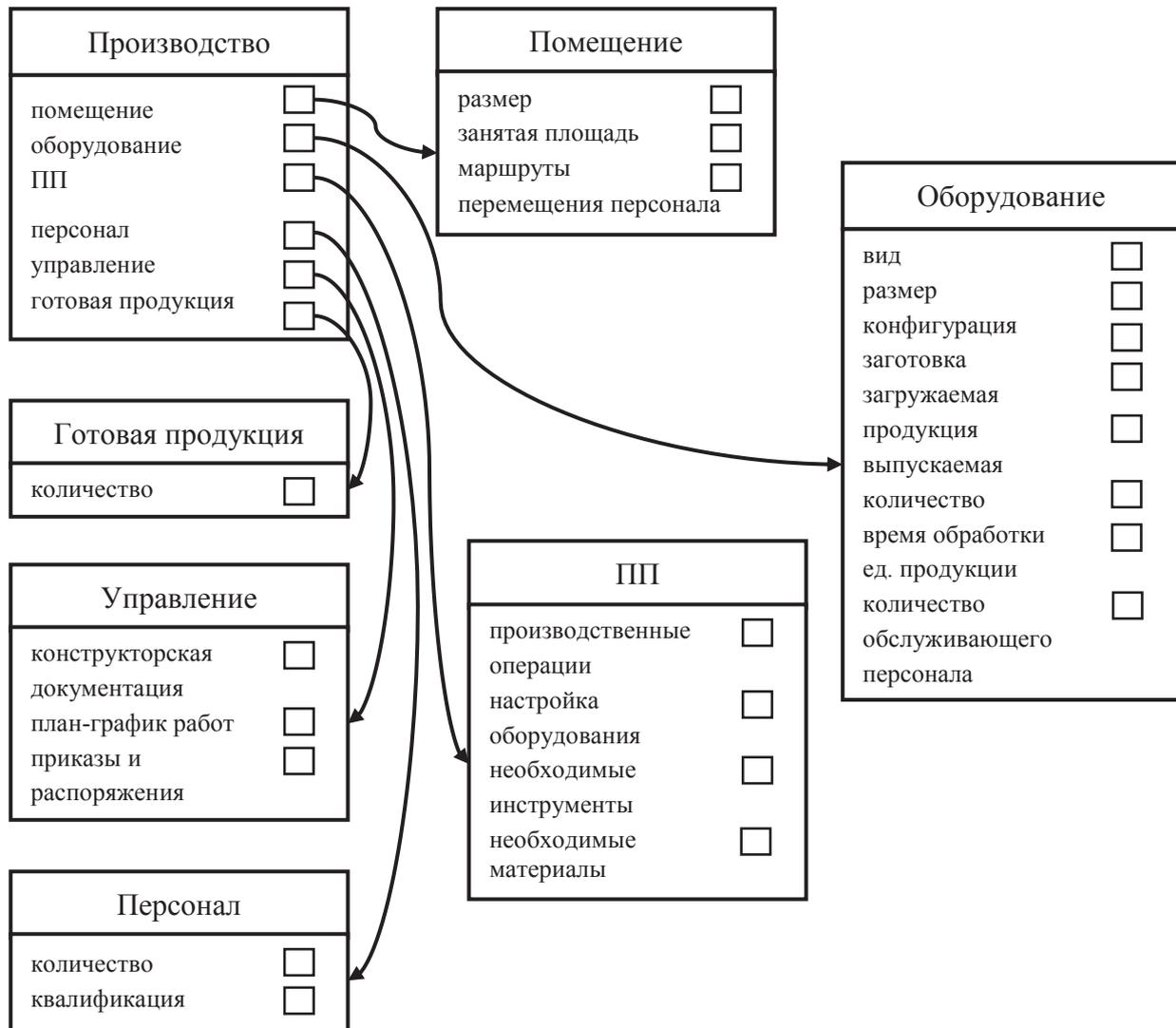


Рисунок 2 – Фреймовая двухуровневая модель объектов ПП

Во фрейме «ПП» субфрейм «производственные операции» имеет соответствие с применяемым оборудованием. Настройка оборудования рассматривается как процесс и характеризуется временем настройки (переналадки) оборудования. Инструменты и вспомогательные материалы, необходимые в производстве, характеризуются номенклатурой и количеством.

Время обработки единицы продукции в фрейме «оборудование» можно разделить на следующие составляющие:

- время цикла – непосредственная работа оборудования;

- время загрузки-выгрузки – время, затрачиваемое на то, чтобы установить заготовку на оборудовании и извлечь её. Эти две операции разделены во времени непосредственной работой оборудования, однако они являются логически связанными и часто близкими по затрачиваемому времени, поэтому их можно объединить.

Необходимо включить в рассмотрение и время перемещения, которое зависит от размера и занятых площадей в помещении, а также от маршрутов перемещения персонала. Особо необходимо учесть время простоев. Простои могут возникать от любых событий и сбоев.

### 5 Онтологическая модель представления взаимосвязей

Если для описания атрибутов применена фреймовая модель, то для описания связей используется онтология. Онтологическая схема представляет собой семантический ориентированный граф, который включает в себя атрибуты исследования и взаимосвязи между ними. Здесь к атрибутам могут быть отнесены реальные производственные объекты и протекающие на производстве процессы. Онтограф процесса сборки ТСБУ приведён на рисунке 3.

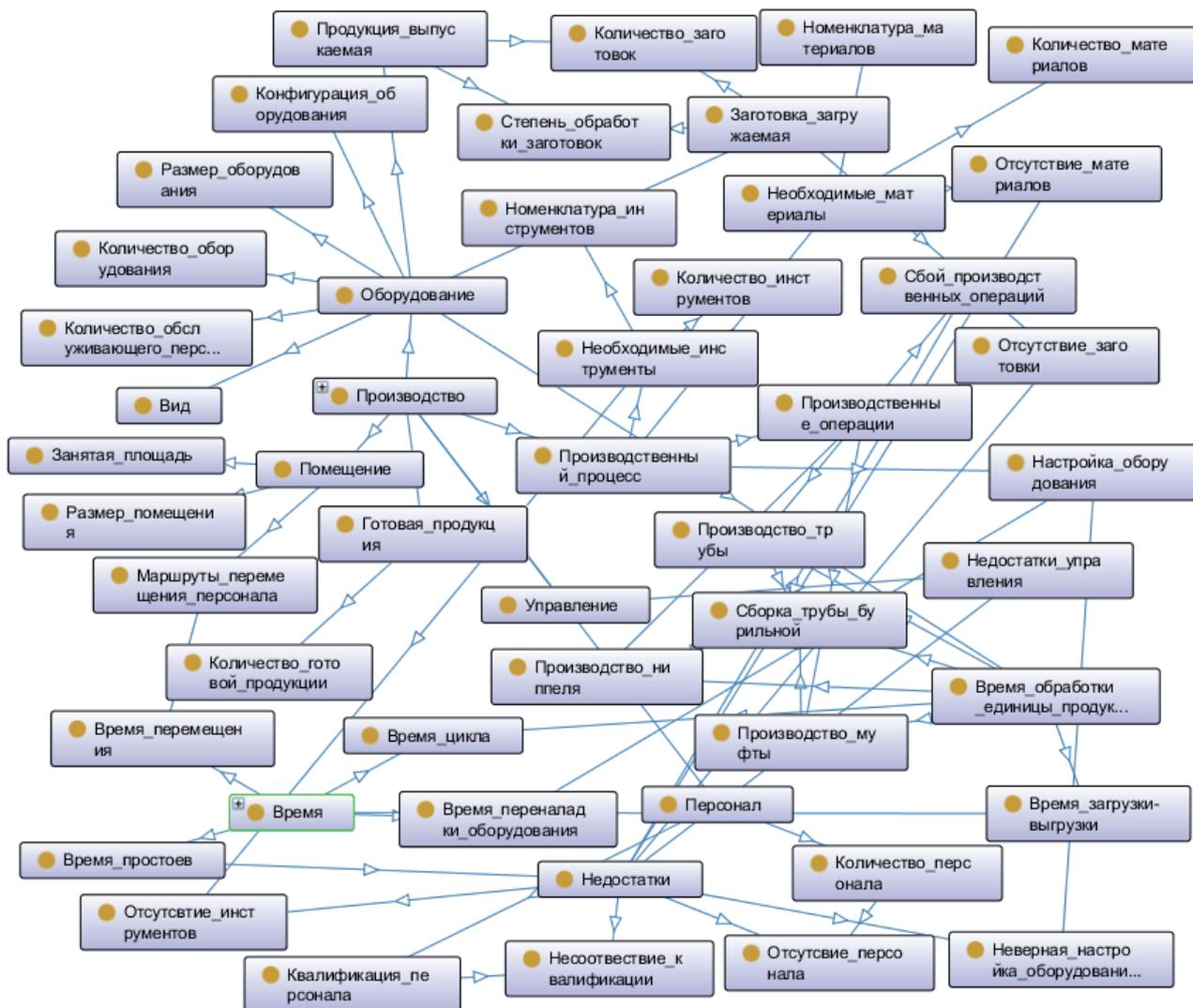


Рисунок 3 – Онтограф процесса сборки ТСБУ

В результате построения онтологии определены все взаимосвязи и отношения инцидентности. Поскольку ключевой характеристикой является время, то оно выделено в отдельный атрибут. Атрибут «время» состоит из следующих составляющих:

- время цикла ( $t_c$ );
- время загрузки-выгрузки ( $t_l$ );
- время переналадки оборудования ( $t_q$ );
- время перемещения ( $t_w$ );
- время простоев ( $t_d$ ).

Простой связан с конкретными недостатками в работе, среди которых выделены отсутствие заготовки в необходимое время, отсутствие инструмента, материалов, отсутствие работника или несоответствие его квалификации поставленной задаче, сбой производственных операций и т.д.

С целью повышения эффективности работы предприятия необходимо произвести анализ каждого недостатка.

## 6 Применение циклограмм для устранения временных потерь

Оптимизация работы предприятия производится по времени, поэтому в качестве критерия оптимизации ПП рассматривается также время. Общие затраты времени ( $T$ ) могут быть оценены по формуле:

$$T = t_c + t_l + t_q + t_w + t_d. \quad (2)$$

Стремление показателя  $T \rightarrow \min$  соответствует концепции бережливого производства. Достижение каждого из показателей в (2) минимального значения создаст наиболее эффективные условия работы предприятия. Снижение времени, затрачиваемого на загрузку и выгрузку, можно добиться путём составления строгих графиков работ, которые бы учитывали для персонала численный состав и квалификацию, для инструментов и материалов – наличие и пригодность. Для этих целей предлагается использование циклограмм.

Циклограмма – это диаграмма, показывающая время и последовательность выполнения операций в процессе. Циклограммы представляют собой графическую иллюстрацию ПП, где в выбранном масштабе изображаются отрезки времени, символизирующие моменты начала, продолжительность и моменты завершения циклов работы единиц оборудования, работы персонала, а также необходимость в инструменте и материалах для обеспечения ПП.

На циклограммах отмечаются все временные затраты, поэтому по ним можно судить о продолжительности простоев оборудования по различным причинам, а также об общей эффективности производства.

Фрагмент циклограммы участка производства представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Фрагмент циклограммы ПП для ТСБУ

Циклограммы позволяют наглядно отобразить временные затраты на выполнение той или иной операции. С их помощью составляются расписания, которые позволяют, в первую очередь, снизить простои. Циклограммы целесообразно составлять не только для отображения работы оборудования, но также для персонала, времени использования инструментов и расходных материалов. Сопоставление полученных циклограмм позволяет создать единую систему учёта времени, которая полностью соответствует концепции *WF*-сети, поскольку отображает связи и отношения инцидентности.

## Заключение

Использование онтологического подхода, *WF*-сети и фреймовой модели позволило усовершенствовать метод построения КПСЦ. Построение КПСЦ показано на примере ПП сборки ТБСУ на конкретном предприятии.

## Список источников

- [1] *Ахтулов А.Л., Ахтулова Л.Н., Стадольская Т.И.* Использование карт потока создания ценности как средство постоянного улучшения деятельности организации. *Омский научный вестник*. 2013. №5(122). С.40-46.
- [2] *Давыдова Н.С., Ключков Ю.П.* Модель управления внедрением системы "бережливое производство" на предприятии. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. 2012. № 4. С.32-35.
- [3] *Оно Т.* Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006. 208 с.
- [4] *Сергина А.А.* Построение карты потока создания ценности. В сборнике: современные проблемы и тенденции развития экономики и управления в XXI веке // Сборник материалов VII-й международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Е.М. Мосолова. 2015. С.52-55.
- [5] *Акимов С.С., Трипкош В.А.* Производственные процессы в карте потока создания ценностей [Электронный ресурс]. Актуальные проблемы экономической деятельности и образования в современных условиях : материалы Тринадцатой Междунар. науч.-практ. конф., 25 апр. 2018 г., Оренбург / отв. ред. Мишучкова Ю.Г. - Красноярск : Научн.-инновац. центр, 2018. С.235-239.
- [6] *Акимов S.S.* Optimization of production processes when building a value flow map. *Journal of Physics: Conference Series : International Conference "High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing," HIRM 2019, Krasnoyarsk, 06 мая 2019 года*. Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P.012136.
- [7] *Бельш К.В., Давыдова Н.С.* Алгоритм составления карты потока создания ценности на промышленном предприятии. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. 2015. Т.25. №1. С.7-13.
- [8] *Почепина А.Г.* Интеллектуальный модуль анализа диспетчерской информации в промышленном производстве. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 1. С.233.
- [9] *Гуныков С.А., Акимов С.С.* Построение карты потока создания ценностей в системе бережливого производства предприятия. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф., 31 янв.-2 февр. 2018 г., Оренбург. Оренбург. гос. ун-т. 2018. С.654-657.
- [10] *Бахтимов А.А., Шахматова Ю.С.* Оценка финансовой устойчивости предприятия в концепции бережливого производства. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2017. С.79-84.
- [11] *Умалатов Р.С.* Концептуальная модель измерений бережливого производства. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2022. Т.12. №1-1. С.267-278.
- [12] *Shakil S.I., Parvez M.* Application of Value Stream Mapping (VSM) in a Sewing Line for Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Case Study Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. Vol.169. P. 249-260.
- [13] *Sudhakara P.R., Salek R., Venkat D., Chruzik K.* Management of non-value-added activities to minimize lead time using value stream mapping in the steel industry. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020. Vol.25. No3. P.444-445.
- [14] *Гуныков С.А., Акимов С.С.* Разработка программного продукта для построения карты создания ценности. *Программные продукты и системы*. 2020. № 2. С.204-209.
- [15] *Abdi A., Karech T., Dahri N.* [et al.] Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchical Processes Approach: A Case Study in Constantine (North-East Algeria). *Geotechnical and Geological Engineering*. 2021. №39. P. 5675-5691.

- [16] **Жумашева Б.К., Сердюк А.И., Акимов С.С.** Анализ технологических маршрутов на основе проектирования карт потока создания ценности. Сборник материалов X Всероссийской конференции *Компьютерная интеграция производства и ИППИ-технологии*, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. С.102-105.
- [17] **Lyu J.J., Chen P.S., Huang W.T.** Combining an automatic material handling system with lean production to improve outgoing quality assurance in a semiconductor foundry. *Production Planning and Control*. 2020. №32. P. 829-844.
- [18] **Lu J.C., Yang T., Wang C.Y.** A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2011. Vol.24. No 3. P.211-228.
- [19] **Munyai T., Makinde O.A., Mbohwa C., Ramatsetse B.** Simulation-aided value stream mapping for productivity progression in a steel shaft manufacturing environment. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2019. Vol.30. No 1. P.171-186.

### Сведения об авторах



**Акимов Сергей Сергеевич**, 1986 г. рождения. Окончил Российский государственный торгово-экономический университет (ныне РЭУ им. Плеханова) в 2008 году, в 2016 году - Оренбургский государственный университет (ОГУ) по специальности «Управление в технических системах». Старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах ОГУ. ORCID: 0000-0003-4444-9945. Author ID (RSCI): 631591; Author ID (Scopus): 57191544067. [sergey\\_akimov\\_work@mail.ru](mailto:sergey_akimov_work@mail.ru). ✉

**Жумашева Бибигуль Капуовна**, 1977 г. рождения. В 2002 г. окончила Оренбургский государственный университет по специальности «Электро-снабжение». В 2020 г. окончила магистратуру по направлению подготовки «Управление в технических системах». В 2020 г. поступила в аспирантуру по направлению подготовки Информатика и вычислительная техника, профиль «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)». Заведующий лабораторией кафедры управления и информатики в технических системах аэрокосмического института ОГУ. ORCID: 0000-0002-1838-3076; Author ID (RSCI): 693786. [zhumasheva.bk@mail.ru](mailto:zhumasheva.bk@mail.ru).



Поступила в редакцию 24.07.2022, после рецензирования 8.08.2022. Принята к публикации 31.08.2022.



## Value stream maps development based on the ontological approach

© 2022, S.S. Akimov ✉, B.K. Zhumasheva

Orenburg State University, Orenburg, Russia

### Abstract

The purpose of the work is to evaluate and improve the efficiency of a manufacturing enterprise through the development and implementation of a value stream map. The analysis of the value stream map method was carried out, its shortcomings and features were identified. A map of the value creation flow of the current state of the production process was built and it was concluded that the map allows improving this flow process. Based on the analysis of a particular case of the Petri net, the need to determine objects, relationships and incidence relations is shown. The main objects are determined by building a frame model of the interaction of key production parameters. Relationships between objects and incidence relationships are revealed by building an ontological model. An analysis of the value stream maps development revealed five types of time costs. To reduce the travel time, loading and unloading time and eliminate downtime, it is proposed to use Petri nets using cyclograms.

**Key words:** value stream map, industrial production, frame model, ontology, WF-network, cyclograms.

**Citation:** Akimov SS, Zhumasheva BK. Value stream maps development based on the ontological approach [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 405-417. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-405-417.

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

### List of figures and table

Figure 1 - A map fragment of the existing flow of drilling pipe manufacturing

Figure 2 - A two-level frame model of production process objects

Figure 3 - Drill pipe assembly process ontograph

Figure 4 - A cyclogram fragment of the production process

Table 1 - The sequence of technological operations for the assembly of the drill pipe

### References

- [1] Akhtulov AL, Akhtulova LN, Stadolskaya TI. The use of value stream maps as a means of continuous improvement of the organization's activities [In Russian]. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013; 5(122): 40-46.
- [2] Davydova NS, Klochkov YuP. The management model for the implementation of the "lean production" system at the enterprise [In Russian]. *Bulletin of the Udmurt University. Series Economics and Law*. 2012; 4: 32-35.
- [3] Ono T. The Toyota Production System. Moving away from mass production [In Russian]. Per. from English. 2nd ed., Reworked. and additional. Moscow: Institute for Complex Strategic Studies, 2006. 208 p.
- [4] Sergina AA. Value stream map development. In the collection: modern problems and trends in the development of economics and management in the XXI century [In Russian]. Collection of materials of the VII international scientific and practical conference. Managing editor E.M. Mosolov. 2015. P.52-55.
- [5] Akimov SS, Tripkosh VA. Production processes in the value stream map [In Russian]. Actual problems of economic activity and education in modern conditions: materials of the Thirteenth Intern. scientific-practical. conf., 25 Apr. 2018, Orenburg. Ed. Mishuchkova Yu.G. Krasnoyarsk: Scientific and innovative. center, 2018. P.235-239.
- [6] Akimov SS. Optimization of production processes when building a value flow map. Journal of Physics: Conference Series: International Conference "High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing," HIRM 2019, Krasnoyarsk, 06 May 2019. Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P.012136.
- [7] Belysh KV, Davydova NS. Algorithm for mapping the value stream at an industrial enterprise [In Russian]. *Bulletin of the Udmurt University. Series Economics and Law*. 2015; 25(1): 7-13.
- [8] Pochepina AG. Intelligent module for analysis of dispatching information in industrial production [In Russian]. *Modern problems of science and education*. 2014; 1: 233.

- [9] **Gunkov SA, Akimov SS.** Mapping the flow of value creation in the system of lean production of an enterprise [In Russian]. University complex as a regional center of education, science and culture: materials Russian scientific method. conf., Jan. 31-Feb. 2 2018, Orenburg / Ministry of Education and Science Rus. Federation, Feder. state budget. educate. institution of higher education "Orenburg. state. un-t". Orenburg: OGU, 2018. P.654-657.
- [10] **Bakhtimov AA, Shakhmatova YuS.** Estimation of financial sustainability of an enterprise in the concept of lean production [In Russian]. Economics and management: problems, solutions. 2017. P.79–84.
- [11] **Umalatov RS.** Conceptual model of measurement of lean production [In Russian]. *Economics: yesterday, today, tomorrow.* 2022; 12(1-1): 267-278.
- [12] **Shakil S.I., Parvez M.** Application of Value Stream Mapping (VSM) in a Sewing Line for Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Case Study Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020; 169: 249-260.
- [13] **Sudhakara P.R., Salek R., Venkat D., Chruzik K.** Management of non-value-added activities to minimize lead time using value stream mapping in the steel industry. *Acta Montanistica Slovaca.* 2020; 25(3): 444-445.
- [14] **Gunkov SA, Akimov SS.** Software product development for constructing a value creation map [In Russian]. Software products and systems. 2020; 2: 204-209.
- [15] **Abdi A., Karech T., Dahri N.** [et al.]Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchical Processes Approach: A Case Study in Constantine (North-East Algeria). *Geotechnical and Geological Engineering.* 2021; 39: 5675–5691.
- [16] **Zhumasheva BK, Serdyuk AI, Akimov SS.** Analysis of technological routes based on the design of value stream maps [In Russian]. Computer integration of production and FDI technologies: Collection of materials X All-Russian Conference, Orenburg, November 18–19, 2021. Orenburg: Orenburg State University, 2021. P.102-105.
- [17] **Lyu JJ, Chen PS, Huang WT.** Combining an automatic material handling system with lean production to improve outgoing quality assurance in a semiconductor foundry. *Production Planning and Control.* 2020; 32: 829–844.
- [18] **Lu JC, Yang T, Wang CY.** A lean pull system design analyzed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.* 2011; 24(3): 211-228.
- [19] **Munyai T, Makinde OA, Mbohwa C, Ramatsetse B.** Simulation-aided value stream mapping for productivity progression in a steel shaft manufacturing environment. *South African Journal of Industrial Engineering.* 2019; 30(1): 171-186.

## About the authors

**Sergey Sergeevich Akimov** (b. 1986). Graduated from the Russian State University of Trade and Economics (now Plekhanov Russian University of Economics) in 2008, and in 2016 from the Orenburg State University (OSU) with a degree in Management in Technical Systems. Senior Lecturer, Department of Management and Informatics in Technical Systems, OSU. ORCID: 0000-0003-4444-9945. Author ID (RSCI): 631591; Author ID (Scopus): 57191544067. [sergey\\_akimov\\_work@mail.ru](mailto:sergey_akimov_work@mail.ru).✉

**Bibigul Kapuovna Zhumasheva** (b. 1977). In June 2002, she graduated from the OSU with a degree in Power Supply. In 2020 she graduated from the master's program in the direction of training "Management in technical systems". In 2020, she entered the graduate school in the field of study of Informatics and Computer Engineering, in the Automation and Control of Technological Processes and Production (in industry) specialty. Head of the Laboratory of the Department of Control and Informatics in Technical Systems of the Aerospace University OSU. ORCID: 0000-0002-1838-3076; Author ID (RSCI): 693786. [zhumasheva.bk@mail.ru](mailto:zhumasheva.bk@mail.ru).

Received July 24, 2022. Revised August 08, 2022. Accepted August 31, 2022.

## Рекомендуемые издания 2021-2022 года

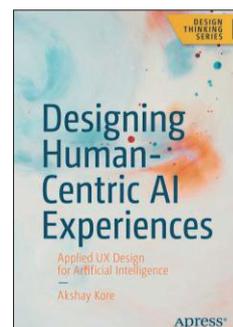


**Владимир Виттих. Избранные труды по эвергетике** (по материалам статей и докладов) / сост. С.Ю. Боровик, Т.В. Моисеева, С.В. Смирнов. - Самара: Издательство «Новая техника», 2022. 420 с.

В издание вошли статьи и доклады известного российского ученого доктора технических наук, профессора Владимира Андреевича Виттиха, посвященные становлению и развитию эвергетики - новой ценностно-ориентированной науки об управлении в человеческом обществе. Эвергетика В.А. Виттиха расширяет и дополняет существующий традиционный «системный» подход к управлению социотехническими системами за счёт включения в процессы управления простых людей из повседневности. Технологическую платформу для реализации эвергетики В.А. Виттих видел в современных интеллектуальных технологиях, включая онтологическое моделирование и мультиагентные системы. Новаторские идеи В.А. Виттиха предвосхитили многие современные положения японского «Общества 5.0» и могут служить плацдармом для преодоления знаменитых «пяти стен» на пути к суперинтеллектуальному обществу будущего. Книга адресована всем тем, кто интересуется процессами управления в обществе.

**Akshay Kore. Designing Human-Centric AI Experiences.** Applied UX Design for Artificial Intelligence. New York: PublisherApress Berkeley, CA. 2022. 468 p.

Applied UX Design for Artificial Intelligence Kore Designing Human-Centric AI Experiences User experience (UX) design practices have seen a fundamental shift as more and more software products incorporate machine learning (ML) components and artificial intelligence (AI) algorithms at their core. This book will probe into UX design's role in making technologies inclusive and enabling user collaboration with AI. AI/ML-based systems have changed the way of traditional UX design. Instead of programming a method to do a specific action, creators of these systems provide data and nurture them to curate outcomes based on inputs. These systems are dynamic and while AI systems change over time, their user experience, in many cases, does not adapt to this dynamic nature. Applied UX Design for Artificial Intelligence will explore this problem, addressing the challenges and opportunities in UX design for AI/ML systems, look at best practices for designers, managers, and product creators and showcase how individuals from a non-technical background can collaborate effectively with AI and Machine learning teams.

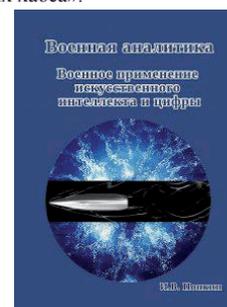


**Иванус А.И. Искусственная генерация новых знаний: моделирование процессов мышления для получения новых знаний вне мозга человека: качественный скачок в развитии искусственного интеллекта.** Москва: URSS. 2022. 200 с.

Мозг человека по своей природе не может мыслить по правилам математики, он мыслит по правилам, которые ему определила эволюция. Математический язык гарантирует максимальную интуитивную истинность выводимых умозаключений, которые в принципе не должны иметь альтернатив и противоречий за счёт соответствующего выбора системы аксиом, доказательства теорем и пр. В противоположность математическому наш естественный вербальный язык содержит альтернативы практически любому умозаключению. Онтология знаний на вербальном языке — это своего рода информационный «бульон», состоящий из альтернативных и противоречивых, но истинных данных о предметной области. Из этого «бульона» мозг формирует устойчивые структуры в виде семантических ядер истинности знаний, которые и являются смысловыми «единицами» мышления. Подобные структуры мозг использует в своём осуществлении «нематематического» процесса генерации новых знаний, реализуя принцип «истинность из неопределённости», как и «порядок из хаоса».

**Понкин И.В. Военная аналитика.** Военное применение искусственного интеллекта и цифры / Консорциум «Аналитика. Право. Цифра». – М.: Буки Веди, 2022. 106 с. (Серия: «Методология и онтология исследований»).

Издание посвящено тематическому горизонту военного применения цифровых технологий и технологий искусственного интеллекта. Описаны концепты: цифровой динамической модели двойника района боевых действий, кибер-мета-вселенной поля боя, интеллектуализированной системы ассистирования в управлении боем, ряд других концептов. Объяснены основные понятия и структура общей теории прикладной военной аналитики. Показаны её роль и значение. Прикладная аналитика – это сложноонтологический инжиниринг данных, активный комплексный подход, направленный на исследование, измерение, референцирование и сопоставление значимых данных, выявление, исследование и моделирование природы и онтологий вещей и процессов, закономерностей и тенденций, на экстрактирование субстратов смыслов, образов и онтологий, а также процесс обработки указанного познаваемого с его трансформацией для принятия релевантных, эффективных решений.



**Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Наука и искусство принятия решений.** В трёх книгах. URSS. 2021. 240 с.

Издание представляет собой коллекцию методов принятия решений. Первая книга посвящена описанию основных проблем принятия решений, классификации соответствующих задач (задач оптимизации, линейного программирования, многоэтапного оптимального выбора и т. п.) и принятию решений в условиях определённости и условиях риска. Во второй книге рассматриваются метод анализа иерархий, в том числе семейство методов анализа иерархий ELECTRE, динамические задачи принятия решений, принятие решений на основе нечётких моделей, поддержка процессов принятия решений с использованием проблемно-ориентированных знаний, а также вопросы многокритериального выбора в условиях неопределённости. Третья книга посвящена подходам к решению задач коллективного выбора, а также методам генерации решений. Книги предназначены для студентов и специалистов, профессионально занимающихся теорией и методологией принятия решений, и содержит многочисленные примеры решения практических задач из различных предметных областей. Издание будет полезно всем интересующимся теорией принятия решений.



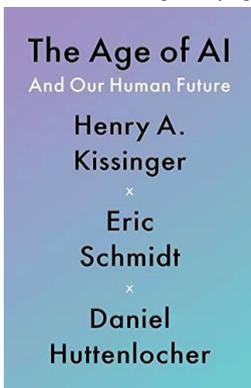
**Дубровский Д.И. Психические явления и мозг:** Философский анализ проблемы в связи с некоторыми актуальными задачами нейрофизиологии, психологии, кибернетики. Серия Философия сознания № 12. Изд. 2, доп. URSS. 2021. 400 с.

На основе большого естественно-научного и философского материала автор рассматривает психофизиологическую проблему и намечает пути её разработки. В книге анализируются содержание категорий физиологического и психического, их взаимосвязь с понятиями и принципами кибернетики. Основное внимание уделяется обобщению информационной природы психических явлений, выясняются возможные пути моделирования высших нейродинамических структур мозга, обсуждаются такие малоисследованные вопросы, как соотношение физиологического и логического, психического и соматического и др. Книга будет интересна как философам, так и специалистам естественно-научных и гуманитарных дисциплин, а также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами сознания.



**Дубровский Д.И. Информация. Сознание. Мозг.** Расшифровка мозговых кодов психических явлений. Серия Философия сознания № 11. Изд. 2, доп. URSS. 2021. 304 с.

В книге обосновывается информационный подход к проблеме сознания и мозга, рассматривается соотношение сознания и информации, формулируются основные результаты информационного подхода к исследуемому вопросу, даётся анализ проблемы расшифровки нейродинамического кода психических явлений, обстоятельно разбирается и критикуется физикалистский подход к проблеме сознания и мозга. Книга будет интересна как философам, так и специалистам естественно-научных и гуманитарных дисциплин, а также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами сознания.



**Henry A Kissinger, Eric Schmidt, Daniel Huttenlocher. The Age of AI: And Our Human Future.** Publisher Little, Brown and Company, November 2, 2021. 272 p.

Three of the world's most accomplished and deep thinkers come together to explore Artificial Intelligence (AI) and the way it is transforming human society—and what this technology means for us all. An AI learned to win chess by making moves human grand masters had never conceived. Another AI discovered a new antibiotic by analyzing molecular properties human scientists did not understand. Now, AI-powered jets are defeating experienced human pilots in simulated dogfights. AI is coming online in searching, streaming, medicine, education, and many other fields and, in so doing, transforming how humans are experiencing reality. In *The Age of AI*, three leading thinkers have come together to consider how AI will change our relationships with knowledge, politics, and the societies in which we live. *The Age of AI* is an essential roadmap to our present and our future, an era unlike any that has come before.

**Richard Heimann. Doing AI: A Business-Centric Examination of AI Culture, Goals, and Values.** Publisher : Matt Holt. December 14, 2021. 272 p.

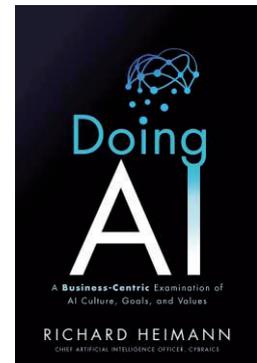
Artificial intelligence (AI) has captured our imaginations—and become a distraction. Too many leaders embrace the oversized narratives of artificial minds outpacing human intelligence and lose sight of the original problems they were meant to solve.

When businesses try to “do AI,” they place an abstract solution before problems and customers without fully considering whether it is wise, whether the hype is true, or how AI will impact their organization in the long term. Often absent is sound reasoning for why they should go down this path in the first place.

*Doing AI* explores AI for what it actually is—and what it is not—and the problems it can truly solve. In these pages, author Richard Heimann unravels the tricky relationship between problems and high-tech solutions, exploring the pitfalls in solution-centric thinking and explaining how businesses should rethink AI in a way that aligns with their cultures, goals, and values.

As the Chief AI Officer at Cybraics Inc., Richard Heimann knows from experience that AI-specific strategies are often bad for business. *Doing AI* is his comprehensive guide that will help readers understand AI, avoid common pitfalls, and identify beneficial applications for their companies.

This book is a must-read for anyone looking for clarity and practical guidance for identifying problems and effectively solving them, rather than getting sidetracked by a shiny new “solution” that doesn’t solve anything.



**Кай-фу Ли, Чэнь Цюфань. ИИ-2041. Десять образов нашего будущего.** Перевод Медведь О., Лаирова А. Издательство: Манн, Иванов и Фербер, 2022. 432 с.

Искусственный интеллект станет определяющим событием XXI века. В течение двух десятилетий все аспекты повседневной жизни станут неизвестными. ИИ приведет к беспрецедентному богатству, симбиоз человека и машины приведет к революции в медицине и образовании и создаст совершенно новые формы общения и развлечений. Однако, освобождая нас от рутинной работы, ИИ также бросит вызов организационным принципам нашего экономического и социального порядка. ИИ принесёт новые риски в виде автономного оружия и неоднозначных интеллектуальных технологий. ИИ находится в переломном моменте, и людям необходимо узнать как положительные черты ИИ, так и экзистенциальные опасности, которые он может принести.

В этой провокационной, совершенно оригинальной работе Кай-Фу Ли, бывший президент Google China и автор книги «Сверхдержавы искусственного интеллекта» (2019), объединяется со знаменитым романистом Чэнь Цюфанем, чтобы представить наш мир в 2041 году и то, как он будет формироваться с помощью ИИ. В десяти захватывающих рассказах они познакомят читателей с возможными новыми реалиями 2041 года.

Глядя на не столь отдаленный горизонт, ИИ 2041 предлагает срочное понимание нашего коллективного будущего, напоминая читателям, что, в конечном счете, человечество остаётся автором своей судьбы.





## ПОСПЕЛОВСКИЕ ЧТЕНИЯ-2022

Искусственный интеллект – проблемы и перспективы  
г. Москва 19-20 декабря 2022 г.



Поспеловские чтения проводятся Российской ассоциацией искусственного интеллекта (РАИИ) совместно с Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» РАН. В этом году Поспеловские чтения будут проходить в год 90-летия со дня рождения *Дмитрия Александровича Поспелова*. Доклады будут демонстрировать развитие идей Д.А. Поспелова и формирование новых направлений в искусственном интеллекте. В качестве докладчиков приглашены ведущие учёные в области искусственного интеллекта.

Регистрация заявок на участие, загрузка текстов докладов и их рецензирование проводится через сайт Поспеловских чтений (<http://posp2022.raai.space>).

### **Сопредседатели Программного комитета**

*Соколов И.А.*, акад. РАН, ФИЦ ИУ РАН, Москва

*Кобринский Б.А.*, д.м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, Москва

### **Основные контакты**

По вопросам подачи докладов: *Кобринский Борис Аркадьевич*, [kba\\_05@mail.ru](mailto:kba_05@mail.ru)

*Аверкин Алексей Николаевич*, [averkin2003@inbox.ru](mailto:averkin2003@inbox.ru)

По общим вопросам: *Борисов Вадим Владимирович*, [vbor67@mail.ru](mailto:vbor67@mail.ru)

## XX НАЦИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ (КИИ-2022)

г. Москва с 21 по 23 декабря 2022 г.

Конференция проводится Российской ассоциацией искусственного интеллекта совместно с Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» РАН, Национальным исследовательским университетом «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), Московским физико-техническим институтом (национальным исследовательским университетом) в НИУ «МЭИ» (г. Москва).

На конференцию принимаются работы по основным направлениям искусственного интеллекта:

- Инженерия знаний
- Интеллектуальный анализ данных
- Интеллектуальный анализ текстов и семантический Web
- Когнитивные и психологические исследования в искусственном интеллекте
- Моделирование рассуждений и неклассические логики
- Нечёткие модели и мягкие вычисления
- Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и управления
- Многоагентные системы и искусственные сообщества
- Робототехнические системы
- Нейросетевые методы, нейроинформатика
- Эмоции и образы в искусственном интеллекте
- Компьютерное зрение
- Объяснимый искусственный интеллект в критических приложениях
- Инструментальные средства конструирования интеллектуальных систем
- Интеллектуальные технологии и прикладные интеллектуальные системы.

На конференцию принимаются неопубликованные ранее работы. Рецензирование и отбор докладов осуществляется Программным комитетом. Все доклады авторов, аффилированных с российскими организациями, подаются на русском языке, доклады зарубежных участников – на английском языке.

Регистрация заявок на участие, загрузка текстов докладов и их рецензирование проводится через сайт КИИ-2022 (<http://rncai2022.raai.space>).

### **Сопредседатели конференции**

*Соколов И.А.*, акад. РАН, ФИЦ ИУ РАН, Москва

*Роголёв Н.Д.*, д.т.н., проф., НИУ «МЭИ», Москва

### **Председатель Программного комитета**

*Кобринский Б.А.*, д.м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН, Москва

### **Основные контакты**

По вопросам подачи докладов: *Виноградов Дмитрий Вячеславович*, [krrguest@yandex.ru](mailto:krrguest@yandex.ru)

По общим вопросам: *Борисов Вадим Владимирович*, [vbor67@mail.ru](mailto:vbor67@mail.ru)

Индекс 29151

1942 2022



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SAMARA UNIVERSITY



Созданный в годы Великой Отечественной войны как центр подготовки инженерных кадров для предприятий авиационной отрасли, Куйбышевский авиационный институт (КуАИ) начал образовательную деятельность **1 октября 1942 года** с подготовки инженеров по самолетостроению и авиационному моторостроению. В числе первых преподавателей были крупные учёные, эвакуированные из Москвы, Ленинграда, Киева, Харькова и других городов СССР. Среди них будущие вице-президент АН СССР М.Д. Миллионщиков, член-корреспондент АН Белорусской ССР М.Г. Крейн,

профессора В.М. Дорофеев, А.А. Комаров, М.И. Разумихин, Н.И. Резников, А.М. Сойфер и др.

В годы войны в Куйбышев (ныне Самара) были эвакуированы десятки предприятий авиационной промышленности, и выпускники КуАИ составили основу инженерного корпуса этих заводов.

В послевоенные годы, наряду с расширением направлений подготовки специалистов, развивалась материально-техническая база института, научно-исследовательская работа учёных, связанная с освоением производства новейших образцов авиационной техники. С 1957 года в институте началась подготовка специалистов по ракетно-космической технике. Учёные и специалисты института принимали участие в разработке и освоении производства первых отечественных межконтинентальных баллистических ракет; ракет-носителей «Восток», «Молния», «Союз» и их модификаций; участвовали в создании ракетно-космического комплекса для обеспечения пилотируемого полёта на Луну по проекту С.П. Королёва, воздушно-космической системы «Энергия-Буран»; разрабатывали космические аппараты различного назначения; участвовали в подготовке и осуществлении программ на орбитальном комплексе «МИР», в реализации программ международного сотрудничества. В последующем КуАИ превратился в крупнейший научно-образовательный центр подготовки специалистов для высокотехнологичных отраслей промышленности России - Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ).

В 2009 году в результате конкурсного отбора СГАУ стал одним из первых 14-ти ВУЗов России, которым установлена категория «национальный исследовательский университет». В 2013 году СГАУ вошел в число 15-ти первых победителей конкурса «Проекта 5-100» - российской инициативы академического превосходства, направленной на повышение конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров. Мощным толчком к развитию стало присоединение к СГАУ Самарского государственного университета.

В 2017 году Самарский университет стал участником проекта «Вузы как центры пространства создания инноваций», в 2020 году - участником программы стратегического академического лидерства «Приоритет - 2030», а в 2022 году представил на конкурс проект создания передовой инженерной аэрокосмической школы и вошёл в число 30-ти ВУЗов России, получивших субсидии на поддержку программ развития инженерных школ.

Сегодня в *Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королёва* ведётся подготовка более 15 тысяч студентов, созданы новые институты и подразделения, развивается международное сотрудничество. Самарский университет входит в глобальные мировые рейтинги и последовательно улучшает свои позиции. Самарский университет - это востребованные выпускники, современные технологии, обучение через исследования и практику.



федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва»**

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

<https://www.ontology-of-designing.ru/>