

# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

Том 8

№ 4(30)



## EDITORIAL BOARD – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Anatoly I. Belousov	Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Nikolay M. Borgest	Боргест Николай Михайлович*, к.т.н., профессор, Самарский университет, член ИАОА, Самара
Stanislav N. Vasiliev	Васильев Станислав Николаевич*, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, Москва
Vladimir G. Gainutdinov	Гайнутдинов Владимир Григорьевич, д.т.н., профессор, КНИТУ-КАИ, Казань
Vladimir V. Golentov	Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск
Vladimir I. Gorodetsky	Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, СПИИРАН, Санкт-Петербург
Yury A. Zagorulko	Загорюлько Юрий Алексеевич*, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, Новосибирск
Anton V. Ivashchenko	Иващенко Антон Владимирович, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Alexander S. Kleshchev	Клещёв Александр Сергеевич*, д.ф.-м.н., профессор, ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Valery A. Komarov	Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Sergey M. Krylov	Крылов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, СамГТУ, Самара
Victor M. Kureichik	Курейчик Виктор Михайлович*, д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, Таганрог
Dmitry V. Lande	Ландэ Дмитрий Владимирович*, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, Киев
Lyudmila V. Massel	Массель Людмила Васильевна*, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, Иркутск
Aleksandr Yu. Nesterov	Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, Самара
Dmitry A. Novikov	Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, Москва
Alexander V. Palagin	Палагин Александр Васильевич, д.т.н., проф., академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, Киев
Semyon A. Piyavsky	Пиавский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, ПГУТИ, Самара
Yury M. Reznik	Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва
George Rzevski	Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон
Peter O. Skobelev	Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», Самара
Sergey V. Smirnov	Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН, Самара
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович*, д.т.н., профессор, УлГТУ, Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шевкетович*, д.т.н., профессор, академик, вице-президент АН РТ, Казань
Boris E. Fedunov	Федунов Борис Евгеньевич*, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, Москва
Altynbek Sharipbay	Шарипбай Алтынбек*, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, Астана
Boris Ya. Shvedin	Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член ИАОА, Ростов-на-Дону

\* - 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	Skobelev P.O.	Главный редактор	Скобелев П.О.	в.н.с. ИПУСС РАН
Deputy Chief Editor	Smirnov S.V.	Зам. главного редактора	Смирнов С.В.	зам. директора ИПУСС РАН
Executive Editor	Borgest N.M.	Выпускающий редактор	Боргест Н.М.	директор изд-ва «Новая техника»
Editor	Kozlov D.M.	Редактор	Козлов Д.М.	доцент Самарского университета
Technical Editor	Simonov A.A.U.	Технический редактор	Симонова А.Ю.	редактор изд-ва «Новая техника»
Translation Editor	Korovin M.D.	Редактор перевода	Коровин М.Д.	инженер Самарского университета

## CONTACTS FOUNDERS – КОНТАКТЫ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

### ИПУСС РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61  
тел./факс.: +7 (846) 333 27 70

Смирнов С.В.  
smirnov@iccs.ru

### Самарский университет

443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10  
тел.: +7 (846) 267 46 47, факс.: +7 (846) 267 46 46

Боргест Н.М.  
borgest@yandex.ru

### ООО «Новая техника» (издательство)

Адрес редакции: 443010, Самара, ул.Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс.: +7 (846) 332 67 81

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.



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

The journal has been successfully evaluated in the evaluation procedure for the ICI Journals Master List 2014, 2015 and journal received the ICV (Index Copernicus Value) of 67.46 points (2014), 67.64 (2015), 77.98 (2016).

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (Письмо Департамента аттестации научных и научно-педагогических работников Минобрнауки РФ от 01.12.2015 № 13-6518) по группам научных специальностей 05.13.00 и 05.07.00.

Журнал включён в РИНЦ. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 1.000 (2013), 0.895 (2014), 1.305 (2015), 1.037 (2016), 0.913 (2017).

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.)

[http://agora.guru.ru/scientific\\_journal/](http://agora.guru.ru/scientific_journal/)

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей  
© ООО «Новая техника» - «New Engineering» Ltd., 2011-2018  
© Самарский университет - Samara University, 2015-2018  
© ИПУСС РАН - ICCS RAS, 2015-2018



Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.  
Дата выхода 29.12.2018. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ОТ РЕДАКЦИИ</b>	
30-Й ЮБИЛЕЙНЫЙ ВЫПУСК	485-486
<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ</b>	
<b>Н.М. Боргест</b>	487-522
ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТ ВИТРУВИЯ ДО ВИТТИХА	
<b>ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	
<b>Е.В. Космодемьянский, А.В. Нагиев, Д.Ю. Изратов, В.А. Кирпичев, П.А. Давыдов, А.А. Маркарова, И.В. Козлова, А.Ю. Окутин, А.Ю. Пустовалов</b>	523-539
ПРОЕКТ КОСМИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ СВЕРХЛЁГКОГО КЛАССА	
<b>В.Я. Цветков, А.В. Козлов</b>	540-549
ЛОГИКО-СИСТЕМНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В НАУЧНЫХ ПРОЕКТАХ	
<b>Л.В. Массель, И.Ю. Иванова, Т.Н. Ворожцова, Е.П. Майсюк, А.К. Ижбулдин, Т.Г. Зорина, А.Р. Барсегян</b>	550-561
ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ	
<b>А.С. Зайцева, Ю.В. Сложеникина</b>	562-570
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	
<b>ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ</b>	
<b>А.А. Зуенко, П.А. Ломов</b>	571-593
СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И СТРУКТУРНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ДЛЯ АПРИОРНОГО АНАЛИЗА ЗАПРОСОВ К ОНТОЛОГИЯМ	
<b>Н.Г. Ярушкина, В.С. Мошкин, Г.Р. Ишмуратова, И.А. Андреев, И.А. Мошкина</b>	594-604
ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ИНТЕГРАЦИИ НЕЧЁТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И НЕЧЁТКИХ ОНТОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<b>МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>	
<b>М.В. Цапенко</b>	605-614
КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ФРОНТОВ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ	
<b>Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева</b>	615-627
АЛЬТЕРНАНСНЫЙ МЕТОД В ВЕКТОРНЫХ ЗАДАЧАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	
<b>И.А. Олянич, П.Г. Серафимович</b>	628-640
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КРУПНОФОРМАТНЫХ ДАННЫХ О ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ КОРЗИНАХ	

## CONTENT

<b>FROM THE EDITORS</b> 30th ANNIVERSARY ISSUE	<b>485-486</b>
<b>GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS</b>	
<b>N.M. Borgest</b> THE ONTOLOGIES OF DESIGNING FROM VITRUVIA TO VITTIKH	<b>487-522</b>
<b>APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING</b>	
<b>E.V. Kosmodemyansky, A.V. Nagiev, D.Y. Izratov, V.A. Kirpichev, P.A. Davydov, A.A. Markarova, I.V. Kozlova, A.Y. Okutin, A.Y. Pustovalov</b> SPACE ROCKET COMPLEX PROJECT ON THE BASIS OF A SUPER-LIGHT CLASS ROCKET-CARRIER	<b>523-539</b>
<b>V.Ya. Tsvetkov, A.V. Kozlov</b> LOGICAL-SYSTEM SEQUENCES IN SCIENTIFIC PROJECTS	<b>540-549</b>
<b>L.V. Massel, I.U. Ivanova, T.N. Vorozhtsova, E.P. Maysyuk, A.K. Izhbuldin, T.G. Zorina, A.R. Barseghyan</b> ONTOLOGICAL ASPECTS OF INVESTIGATION OF ENERGY AND GEOECOLOGY RELATIONSHIP	<b>550-561</b>
<b>A.S. Zaytseva, Yu.V. Slozhenikina</b> MODELLING OF EMERGENCY SITUATIONS TERMINOLOGICAL SYSTEM	<b>562-570</b>
<b>ONTOLOGY ENGINEERING</b>	
<b>A.A. Zuenko, P.A. Lomov</b> COMBINING OF METHODS OF CONSTRAINT PROPAGATION AND STRUCTURAL DECOMPOSITION FOR THE A PRIORI ANALYSIS OF QUERIES TO THE ONTOLOGIES	<b>571-593</b>
<b>N.G. Yarushkina, V.S. Moshkin, G.R. Ishmuratova, I.A. Andreev, I.A. Moshkina</b> APPLICATION OF FUZZY TIME SERIES AND FUZZY ONTOLOGY INTEGRATION IN DIAGNOSTICS OF TECHNICAL SYSTEMS	<b>594-604</b>
<b>METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING</b>	
<b>M.V. Tsapenko</b> CONSTRUCTION OF EFFECTIVE FRONTS OF INNOVATIVE PROJECTS	<b>605-614</b>
<b>E.Ya. Rapoport, Yu.E. Pleshivtseva</b> ALTERNANCE METHOD IN VECTOR PROBLEMS OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS	<b>615-627</b>
<b>I.A. Olyanich, P.G. Serafimovich</b> COMPARATIVE STUDY OF THE ALGORITHMS OF DESIGN OF RECOMMENDATION SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF BIG DATA ON CONSUMER BASKETS	<b>628-640</b>



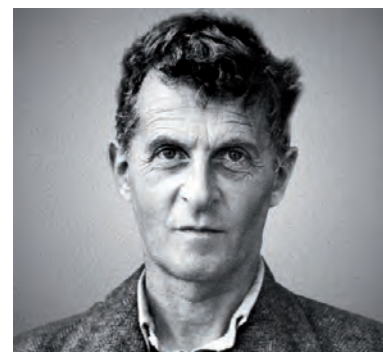
## 30-И ЮБИЛЕЙНЫЙ ВЫПУСК 30th ANNIVERSARY ISSUE

*«Всё то, что вообще может быть мыслимо, должно быть ясно мыслимо.  
Всё то, что может быть сказано, должно быть ясно сказано»<sup>1</sup>.*

Л. Витгенштейн

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

Сложившаяся традиция в журнале – каждый кратный десяти выпуск журнала считать юбилейным, подводить промежуточные или текущие итоги своей деятельности, менять цвет обложки на радужный. Но так как этот номер открывает большая статья выпускающего редактора журнала, профессора Самарского университета Н.М. Боргеста, в которой автор затронул, в том числе, и вопросы нашей журнальной деятельности, то в своём традиционном обращении к читателю мы вновь вспомним тех, чьими знаниями мы пользуемся, на чьих «плечах мы стоим». И сегодня - это австрийский философ и логик, представитель аналитической философии, один из крупнейших и противоречивых философов XX века - Людвиг Витгенштейн (нем. Ludwig Wittgenstein; 26.04.1889-29.04.1951).



Витгенштейн известен тем, что выдвинул программу построения искусственного «идеального» языка - прообраз языка математической логики, разработал доктрину логического атомизма, представляющую собой проекцию структуры знания на структуру мира. Его жизнь и взгляды удивительны и достойны того, чтобы о них говорить, их обсуждать.

Как и многие члены нашей редколлегии и наши авторы, Людвиг Витгенштейн начинал свою деятельность с изучения инженерного дела. После нескольких лет учёбы в Берлине он стажировался в Манчестерском университете, занимался конструированием и разработкой технических устройств, в частности, конструированием летательных аппаратов и авиационного пропеллера в том числе. Там же он познакомился с работами Готлоба Фреге (1848-1925), которые повернули его интерес к проблеме философских оснований математики. И уже с 1911 года Витгенштейн начал интенсивно работать над проблемами логики в Кембриджском университете вместе с Бертраном Расселом (1872-1970). Один из первых полученных им результатов – обнаружение тавтологического характера логических истин. Единственной опубликованной при его жизни книгой был «Логико-философский трактат»<sup>1</sup>.

Витгенштейн подчеркивал, что смыслы и ценности обладают необходимостью, в то время как мир раскладывается на факты. Комбинации физических качеств могут быть какими угодно, а ценности устойчивы. При этом важно отметить, что при градуировании ценности необходимы устойчивые смыслы. Градуирование этических ценностей требует устойчивой платформы, точки отсчёта, которой являются нейтральные факты, а ценность может, как некая атмосфера над плоским фактическим миром, либо возрастая, либо убывая<sup>2</sup>.

Витгенштейн не связывал логическую структуру с субъектом по той причине, что у него нет субъекта. Витгенштейн говорил, что если я напишу книгу «Мир, каким я его нахожу», то

<sup>1</sup> Витгенштейн, Людвиг Йозеф Иоганн - Logisch-Philosophische Abhandlung, 1921; Tractatus Logico-Philosophicus, 1922 - <https://web.archive.org/web/20120621231734/http://www.philosophy.ru/library/witt/01/01.html>.

<sup>2</sup> Подходы к прочтению Витгенштейна. Софья Данько о «Логико-философском трактате» Витгенштейна, понимании слова «факт» и двух уровнях смысла и ценностей 13 June 2017. - <https://postnauka.ru/video/77333>.



в этой книге будет всё, кроме меня, описывающего этот мир. То есть «я» — это граница мира, но не часть мира. Можно судить только о том, что происходит внутри мира, т.к. «я понимаю только свой мир». Больше ничего. Предположение, что есть ещё какой-то другой мир, который я не понимаю, абсолютно бессмысленно<sup>3</sup>.

Трактат Витгенштейна во всем мире считается оригинальным и значительным трудом. Согласно одной из идей этой работы, мировая субстанция состоит из «простых объектов», которые, вступая в различные сочетания друг с другом, образуют факты. «Элементарные суждения» состоят из «имён», каждое из которых обозначает некий простой объект. Комбинация имён обозначает или «изображает» некую возможную комбинацию соответствующих объектов, иначе говоря — некий возможный факт. Изображение возможного факта есть «мысль». Все мыслимое возможно; отрицание мыслимого также мыслимо и возможно.

Истинное удовольствие можно получить, читая строгие и сухие логические построения и формулировки в трактате Витгенштейна. Вот лишь краткая выдержка из его начала.

1. Мир есть всё то, что имеет место.

1.1. Мир есть совокупность фактов, а не вещей.

1.11. Мир определён фактами и тем, что это всё факты.

1.12. Потому что совокупность всех фактов определяет как всё то, что имеет место, так и всё то, что не имеет места.

1.13. Факты в логическом пространстве суть мир.

1.2. Мир распадается на факты.

1.21. Любой факт может иметь место или не иметь места, а всё остальное останется тем же самым.

2. То, что имеет место, что является фактом, — это существование атомарных фактов.

2.01. Атомарный факт есть соединение объектов (вещей, предметов).

2.011. Для предмета существенно то, что он может быть составной частью атомарного факта.

2.012. В логике нет ничего случайного: если предмет может входить в атомарный факт, то возможность этого атомарного факта должна предрешаться уже в предмете...

2.013. Каждая вещь существует как бы в пространстве возможных атомарных фактов. Это пространство я могу мыслить пустым, но не могу мыслить предмет без пространства...

2.014. Объекты содержат возможность всех положений вещей.

2.0141. Возможность вхождения объекта в атомарные факты есть его форма.

2.02. Объект прост...

Сложный и противоречивый характер нашего героя наглядно проявился в известной публикации его бесед с Друри<sup>4</sup>.

*Друри:* «Я пытался читать «Парменида» Платона и даже не одолел его до конца».

*Витгенштейн:* «Этот диалог мне кажется одним из самых выдающихся сочинений Платона».

*Друри:* «А Аристотеля вы когда-нибудь читали?»

*Витгенштейн:* «Я единственный профессор философии, который никогда ни слова не читал у Аристотеля».

Зачитываться Г. Фреге (развившим формальную логику Аристотеля, Лейбница и др. последователей), быть другом Б. Рассела, читать «Парменида» Платона и не читать Аристотеля — конечно, это скорее позёрство, чем правда. Как впрочем, и его заявление в трактате, что «поставленные проблемы в основном окончательно решены». Но таков характер нашего героя, и мы ценим его за лучшие его качества, за то, что он внёс в формальное описание знаний о мире.

Публикуя в этом номере статьи, посвящённые формализации знаний в различных предметных областях, мы сразу приступаем к подготовке первого номера уже девятого тома нашего журнала, благо портфель номера уже готов.

*Уважаемый автор! Мы ждём новых результатов в области формализации знаний!  
Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!*

<sup>3</sup> Витгенштейн о необходимости, добре и зле. Философ Софья Данько о связи Витгенштейна с Кантом и Юмом, логической структуре языка и субъективизме. 5 March 2017. - <https://postnauka.ru/video/73040>.

<sup>4</sup> М. О'С. Drury. Conversations with Wittgenstein// Ludwig Wittgenstein. Resonal Recollections/ Ed. R. Phees. Ox., 1981, pp. 112-182 - [http://www.ruthenia.ru/logos/number/1999\\_01/1999\\_1\\_08.htm](http://www.ruthenia.ru/logos/number/1999_01/1999_1_08.htm).

УДК 001.8

## ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТ ВИТРУВИЯ ДО ВИТТИХА

Н.М. Боргест

*Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия**Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия  
borgest@yandex.ru*

### Аннотация

В статье обсуждается развитие формирующейся научной дисциплины, одноимённой названию журнала «Онтология проектирования». В предыдущих опубликованных в журнале работах автора рассматривались ключевые термины, научный базис и границы онтологии проектирования. Здесь же делается попытка в историческом аспекте рассмотреть истоки онтологии проектирования от Витрувия, Платона, Аристотеля, Сократа и других мудрецов древности до современников, внесших существенный вклад в становление этого научного направления, - Виттиха, Валькмана, Самойловича и многих других выдающихся учёных. Подчёркивается ключевая роль онтологического анализа предметной области, поиска и обоснования формализмов и формальных методов в описании как самой предметной области, так и моделируемых в ней процессов. В работе на примере опубликованных в журнале за восемь лет статей представлены географии затронутых тем, авторов и организаций, их представляющих. Автор взял на себя смелость отметить знаковые на его взгляд работы, опубликованные в журнале, определить области, в которых результаты ещё не получены и которые могли бы восполнить пробелы в мозаике опубликованных работ в журнале. В предметной области социального проектирования автор рассматривает онтологические доминанты, полемизирует с другими авторами благостных теорий от Платона и Адама Смита до Виттиха и Фреско. Автор приглашает к конструктивной дискуссии читателей журнала, формулируя для этого вопросы по нерешённым проблемам.

**Ключевые слова:** онтология, проектирование, онтологические доминанты, благостные теории, понятия, критерии, стандарты.

**Цитирование:** Боргест, Н.М. Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.487-522. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.

Этот краткий отрезок бытия, который каждому из нас предстоит пройти, удивительно прекрасен. И хочется, очень сильно хочется познать многое из этой бездны мироздания, познать *онтологию жизни, онтологию её проектирования.*

Автор

### Введение

Тридцатый выпуск научного журнала позволяет, используя опубликованный в нём материал, сделать попытку оценить пройденный путь, заглянув при этом в прошлое, подвести промежуточные итоги, сделать прогноз на будущее развитие научной дисциплины. Следует сразу оговориться, что автор полностью осознаёт трудности (скорее невозможность) кратко описать становление и развитие онтологии проектирования как научной дисциплины. В первую очередь это обусловлено долгой историей её формирования и связано с огромным количеством накопленного материала, по сравнению с которым статьи в журнале лишь снежинки на вершине айсберга науки о проектировании, онтологии проектной деятельности.



Но эти снежинки, используя накопленный за долгие столетия опыт, служат теми кристаллами, которые в конечном итоге и формируют новое поле научных знаний, определяют движение научной мысли. Существенной проблемой является бесконечное разнообразие предметных областей (ПрО) созидательной проектной деятельности, большое количество учёных, инженеров, изобретателей, внёсших свой вклад в формализацию знаний проектной деятельности, в построение онтологий изучаемых и исследуемых областей, в создание артефактов разной природы от простых орудий до сложных человеко-машинных, социально-технических и общественных систем.

Но желание сделать «подарок» к выходу 30-го номера нашего журнала пересилило очевидные трудности и возможный критический «огонь» коллег, обусловленный эклектикой в изложении материала и субъективизмом выводов и интерпретаций фактов. Апологией представленной статьи может являться совокупность всех уже вышедших 30-ти номеров журнала «Онтология проектирования», проводимый в Самарском университете и ИПУСС РАН одноимённый научный семинар, осваиваемый магистрантами одноимённый учебный курс. Всё сделанное позволяет посмотреть на саму ПрО онтологии проектирования через призму опубликованных в журнале статей, которые так или иначе, но обозначили свой вклад в исследуемую дисциплину. Именно обозначили, а не «покрыли» (решили) те или иные задачи в онтологии проектирования. Думается, что накопление количественного материала в формализации проектной деятельности в различных ПрО позволит исследователям получить качественный прирост знаний в тех областях, где уровень формализации ещё не высок.

Автор в своих рассуждениях во многом опирался на уже опубликованные им в журнале работы: «Границы онтологии проектирования» [1], «Научный базис онтологии проектирования» [2] и «Ключевые термины онтологии проектирования» [3], при этом тщательно старался избегать повторов. Поэтому читателю важно предварительно ознакомиться с этими работами, чтобы текст статьи не вызывал затруднений.

Взятые в названии статьи имена *Витрувия* (Vitruvius) и *Виттиха* (Vittih) не случайны. Первое, это синтаксическое, или то, что бросается в глаза, и что условно связывает эти имена, и что в полной мере соответствует смыслу эмоционального эпитафия к этой статье. Это если не общий корень, то общее начала имён этих героев - «Вит» («Vit»), что можно рассматривать как «Vita», означающее, как известно, с латинского «жизнь». Т.е. речь пойдёт о жизни, развитии, становлении научной дисциплины онтологии проектирования. Не менее важна содержательная часть, семантическое наполнение выбранных автором знаковых фигур, взятых в название статьи. Автор полагает, что эти учёные, представители разных школ и эпох наглядно характеризуют собой временное и «пространственное» развитие этой дисциплины, временной и предметной диапазон достигнутых результатов.

Под «пространственным», в данном случае, понимается не только географическая удалённость выбранных героев (хотя и это имеет место), а также и широкий диапазон ПрО, их предметное различие, созидательные приёмы деятельности, методы накопления и фиксации знаний, в которых онтологический анализ процессов имеет общую природу, основан на общих принципах. С одной стороны, исследуемая дисциплина «онтология проектирования» имеет долгий этап своего развития, ведь Витрувий жил в I веке до н.э., а профессор В.А. Виттих - наш современник, завершивший свой жизненный путь в прошлом году. С другой стороны, оба этих учёных представляют разные ПрО, далёкие друг от друга своими методами, сущностями, атрибутами и отношениями. При этом и Витрувий [4], и Виттих [5] стремились построить свои онтологии, описать и находить формализмы в созидательных процессах каждый в своей ПрО.

Следует также отметить, что в названии используется естественная множественность онтологий, в отличие от названия самой научной дисциплины «онтология проектирования».

Автор в своё время отстаивал это название журнала в обсуждениях с В.А. Виттихом, искренне полагая, что следует соблюсти аналогию в названии с другими дисциплинами.

Начать же свой обзор пути, пройденный научной дисциплиной и поддерживающим её научным журналом, пожалуй, стоит с анализа возникновения термина и самого понятия «онтология проектирования».

## 1 Рождение понятия

В упомянутых статьях [1, 2], как в работах других авторов [6-9] говорилось об условности дифференциации научных дисциплин, невозможности их строгой классификации. Похожая проблема касается и выбора обобщающего термина, описывающего тематику проводимых исследований в рамках перманентно идущей дифференциации научных знаний.

История рождения термина, обозначающего понятие «онтология проектирования», во многом схожа, по мнению автора, с историей появления такой близкой нам дисциплины как «философия техники». В известной монографии по философии техники [10] отмечается, что Эрнст Капп был первым, кто в конце XIX столетия в заголовке своей работы соединил вместе два уже сложившихся на тот период, но ранее казавшиеся несовместимыми понятия «философия» и «техника». В центре его книги «Основные направления философии технологии: о генезисе культуры с новых точек зрения» [11] лежит принцип «органопроекции», в котором человек бессознательно воспроизводит свои органы и сам познаёт себя, исходя из этих искусственных созданий. Капп считал, что именно в словах древнегреческого мыслителя Протагора: «Человек есть мера всех вещей» - впервые сформулирован антропологический критерий и сформировано ядро человеческого знания и деятельности [11]. В дальнейшем многие философы, например, русский инженер П.К. Энгельмейер [12], критиковали принцип Э. Каппа, но все признавали и признают рождение новой для науки дисциплины и нового понятия как «философия техники».

У «онтологии проектирования» также в основе два хорошо и давно известных понятия, но своё новое рождение в сочетании они нашли лишь в начале XXI века, в момент, когда улеглась «шумиха» (прошёл пик «хайпа») и кривая Гартнера<sup>1</sup> вышла на созидательный уровень – плато продуктивности. К этому времени уже сформировались и активно использовались языки описания онтологий ПрО, сетевые сематические технологии, различные системы автоматизированного проектирования, накоплен колоссальный опыт проектных практик в разных ПрО, в активную фазу внедрения начали входить технологии искусственного интеллекта (ИИ), позволяющие моделировать сложные процессы сбора, обработки и анализа данных и информации, принятия решений. Как и в случае с Big Data, потребовавшей разработки технологий обработки потока данных, онтология проектирования фокусируется на формализации знаний в проектной области, фиксации лучших практик, дальнейшей автоматизации не только рутинных процессов [3]. По данным того же Гартнера к 2020 году более 40% задач в области информатики будут автоматизированы. При этом первые три позиции стратегических тенденций в Топ-10 в области технологий на 2019 год напрямую связаны с ИИ, в частности с теми информационными и компьютерными технологиями, которые моделируют человеческую деятельность, исключая его в некоторых случаях полностью из процесса [13]:

- *автономные объекты и системы* (тренд №1), такие как: робототехника, транспортные средства, дроны, бытовая техника, агенты, способные работать в различных средах (морской, наземной, воздушной и цифровой);

<sup>1</sup> Gartner Hype Cycle (кривая или цикл зрелости технологий) - <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>.

- *расширенная аналитика* (тренд №2), в которой аналитики данных (data scientists) теперь получают всё больше данных для подготовки, анализа и группировки - и из которых можно сделать выводы;
- *развитие инструментария*, основанное на ИИ (тренд № 3), включая инфраструктуру ИИ, базы данных ИИ и платформы ИИ.

Расширенная аналитика, автоматическое тестирование, автоматическое создание кода и принятие решений ускорят процесс разработки и предоставят более широкий круг пользователей для создания приложений. При этом инструменты, основанные на использовании ИИ, развиваются благодаря содействию и автоматизации функций, связанных с разработкой приложений, с повышением знаний в области бизнес-процессов и их автоматизацией (от разработки общей концепции до готовых бизнес-решений) [13].

В отличие от, казалось бы, близкого по смыслу названия дисциплины «наука о проектировании» (design science) и одноимённого международного журнала<sup>2</sup> дисциплина «онтология проектирования» фокусирует внимание не столько на разработке теории и методов, сколько на формализации имеющихся проектных практик, на технологиях их внедрения, на тесную связь с компьютерными технологиями (Computer science) [1].

Работы по онтологиям в проектировании появились в последние десятилетия благодаря достижениям в компьютерных технологиях, накопленным проектным практикам и философскому осмыслению способов формализации сущностей в проектировании. Так, например, в 2006 году в статье «Онтологическое проектирование - закладка фундамента» [14] её автор Анна-Мари Уиллис, профессор теории проектирования на факультете прикладных наук и искусств Немецкого университета в Каире, обсуждает основы онтологии проектирования, онтологии оборудования и систем, язык и герменевтический круг в проектировании, путь от мировоззрения и вещей до онтологического проектирования, а также существующие различия в онтологическом проектировании. Автор этой статьи солидарен с Тони Фрай [15] в том, что проектирование - это мета-категория, состоящая из трёх элементов:

- объект проектирования – материальный или нематериальный результат проектирования;
- процесс проектирования – система, организация и деятельность по проектированию;
- агент проектирования – дизайнер и/или инструкция проектирования.

В этой схеме «объект-процесс-агент» наглядно просматривается схожесть основных компонент среды проектирования «объект-субъект-ресурсы», рассмотренных в работе [2].

Об онтологии в автоматизированном проектировании, пожалуй, впервые было написано в 2009 году в работе Каненгёссера и Геро [16]. Важность роли онтологий для проектирования информационных систем в экономике обсуждалась в работе [17] в 2010 году.

Что касается журнала «Онтология проектирования», первый выпуск которого вышел в 2011 году, то старт обсуждению понятия дал автор известной монографии «Онтология предприятия» [18] Шведин Б.Я. в своей статье, задавшись вопросом «Онтология проектирования – Terra incognita?» [19]. Автор утверждал, что «онтология проектирования не должна сводиться только к разработке правил по управлению проектами, безотносительно к содержанию самих проектов. Не менее важным является исследование технологии получения и внедрения содержательных решений в различных областях проектирования, то есть само содержание проектной деятельности». При этом автор советовал тем, «кто захвачен и вовлечён в данное, абсолютно новое и очень интересное направление... набраться терпения, избавиться от неконтролируемого оптимизма, понимая, что впереди много проблем и тяжелой интеллектуальной работы» [19].

---

<sup>2</sup> Журнал «Наука проектирования» (Design Science Journal) основан Обществом дизайна (<https://www.designsociety.org/>) в 2015 году в сотрудничестве с издательством Кембриджского университета (<https://www.cambridge.org/>). - <http://www.designsciencejournal.org/>.

## 2 Диалектика понятий

В науке приходится оперировать с абстракциями, которым можно отыскать соответствующие прообразы в материальной действительности. Абстракции такого рода связаны с идеализацией, «огрублением» предметов и отношений действительного мира. В науке также пользуются и такими абстракциями, которым не находится прообраз в материальной действительности. Известно, что материальная действительность, также как и наши представления и вводимые абстракции диалектичны по своему характеру. Каждый предмет постоянно изменяется. Но, несмотря на это, в науке вводят строгие разграничения для предметов, стремятся дать им точные определения. Справедлив при этом вопрос, которым задаётся философ и логик Д.П. Горский [20]: «Законно ли это? Не рискуем ли мы при этом постоянно высказывать ложь (предмет постоянно меняется...)? Какие абстракции и идеализации при этом допускаются и правомерны ли они?»

В процессе абстракции какие-то характеристики предметов выделяют, а какие-то не рассматривают или игнорируют. Достаточно ли для формирования научных понятий отвлечения от каких-то объективных характеристик изучаемых предметов, от некоторых наших субъективных возможностей? Трудности, связанные с проблемами процесса абстракции и образования понятий могут быть решены на основе диалектического метода и учёта роли практики и человеческого познания [20].

Науки развиваются диалектически. В ходе развития науки постоянно обнаруживаются противоречия, которые разрешаются в процессе прогресса человеческого знания. Противоречия возникают вследствие обнаружения несоответствия существующей теории новым фактам, в частности того, что исходные положения оказываются неправомерными, требующими уточнения, углубления, а подчас и замены их новыми абстракциями.

Возникновение новых научных дисциплин, имеющих обобщённый характер, приводит к изучению общих понятий весьма абстрактного содержания и ставит вопрос об их определении, о правомерности их использования, об их объективном характере. При определении таких понятий устанавливаются отношения между тем, что определяется и тем, что для определяемого является смежным.

Важнейшая черта диалектики познания связана, в том числе, с переходом от конкретного к абстрактному: абстрагирование от всего богатства характеристик предмета в процессе его познания связано не с обеднением знания о предмете, а, наоборот, с его обогащением.

К определению понятия, т.е. к выявлению его специфических существенных черт, можно подойти по-разному. Чаще всего понятие определяется как мысль, в которой отражаются общие и существенные свойства и отношения предметов действительности.

Понятие представляет собой пропозициональную (логическую) функцию, которая устанавливает соответствие между предметами определённой ПрО, являющимися значениями её аргумента, и истиной и ложью. В логических исчислениях понятия выступают в роли предикатов, в которых отражены определённые свойства или отношения, выделенные в результате абстракции в ходе изучения соответствующих индивидуальных предметов определённых ПрО. Свойства и отношения, отражаемые в понятиях, или непосредственно абстрагированы в результате изучения индивидуальных предметов, или образованы в результате принципа свёртывания. Составленное сложное описание предмета может быть при этом заменено, «свёрнуто» некоторым простым именем.

Анализ понятия впервые встречается у выдающегося математика и логика Г. Фреге, который предложил рассматривать понятие как особого рода функцию. Согласно Фреге, функция есть выражение, которое не является непосредственно именем никакого предмета и нуждается в некотором восполнении для того, чтобы стать именем предмета [21]. Понятия — это такого рода функции, которые относят либо истину, либо ложь к любому значению аргумента. Совокупность значений таких функций, которые при замене переменной на фиксированные постоянные приводят к образованию истинных значений, представляет собой объём понятия. Структура понятия и есть структура пропозициональной функции.

Развитие работ в области анализа формальных понятий можно найти, в том числе, и в нашем журнале в опубликованных статьях д.т.н. С.В. Смирнова, например [22]. Онтологии пригодны для представления как формально-математических, так и содержательно-



описательных моделей. В качестве предпосылки для выбора базовых элементов онтологических спецификаций постулируется когнитивная способность субъектов моделирования различать в мире объекты и обнаруживать связи между объектами. Поскольку отношения как совокупности связей делятся на свойства и ассоциации объектов, то моделирующими примитивами для онтологий оказываются свойства и классы объектов. Ассоциативные отношения, элементы операционного базиса и аксиомы моделируемой ПрО фиксируются при определении специальных свойств объектов. В целом онтологический подход даёт ясный взгляд на состав, назначение и структуру моделирующего комплекса для поддержки коммуникативной деятельности в интересующих системах, а также механизмов управления моделями при решении задач.

### **3 Витрувий – первый онтолог в проектировании**

Известны и хорошо сохранились следы активной проектной деятельности человеческой цивилизации ещё задолго до Витрувия, жившего в I веке до н.э. Ярким примером могут являться грандиозные сооружения пирамид в Египте, строительство которых требовало инженерных и научных знаний, разработанных, детальных проектов и соответствующих расчётных моделей, технологий строительства и производства, транспортной и производственной логистики, дизайнерских решений и пр. Но история, потомки, к сожалению, не сохранили до нас письменного или иного свидетельства документального описания проектов и технологий их реализации, в которых были бы зафиксированы знания проектантов о процессе и возводимых объектах, об использованных методах принятия проектных решений, критериях и параметрах проектирования. Хотя без этих утерянных для нас знаний, позволивших создать шедевры инженерного и дизайнерского искусства, вряд ли бы сохранились эти величественные памятники проектной культуры.

Право быть первым онтологом в проектировании, по мнению автора, принадлежит Витрувию. Отдавая должное другим учёным, способствующим формированию и накоплению научных знаний о мире, развитию философии, онтологии и обобщению практик по совершенствованию среды обитания под человека и для него, следует высоко оценить вклад Витрувия в сохранение и фиксацию проектных приёмов и процедур в конкретной ПрО. Содержание первой онтологии проектирования городов и зданий описано в десяти книгах Витрувия [4]. Витрувия можно назвать первым учёным, представившим свою онтологию проектирования, дав примеры выработанных им формализмов в виде последовательности действий и правил проектанта, атрибутирования и выявления связей важнейших сущностей в ПрО, классификации объектов и инструментов, формировании требований к компетенциям субъектов проектирования. Подготовленные им книги – это первое систематическое изложение формализованного описания проектной деятельности в конкретной ПрО.

Так, в первой книге Витрувий рассматривает сущностные вопросы, основные положения и отделы архитектуры, включая выбор местоположения города, его стен, внутреннее расположение города и общественных зданий.

Книга вторая посвящена используемым материалам и технологиям их применения.

В третьей книге говорится об оптимальной с точки зрения Витрувия соразмерности в храмах и в человеческом теле, о классификациях храмов, о пропорциях. В дальнейшем великий Леонардо да Винчи, иллюстрируя книгу Витрувия, смог воплотить его идеи соразмерности в Витрувианском человеке.

Книга четвёртая посвящена украшению (сейчас в русской традиции это называли бы дизайном) зданий и их элементов, а в пятой приводятся рекомендации по проектированию конкретных по назначению типов зданий (особое внимание уделено театру).

В шестой книге рассматривается влияние климатических условий на выбор расположения здания, на соразмерность домов в зависимости от их местоположения, на пропорции главных помещений и др.

Книга седьмая посвящена отделке зданий, а восьмая – водоснабжению и водоотведению.

Девятая книга описывает связь и влияние на архитектуру астрономии и астрологии («звёздного неба над головой» по Канту), а десятая – подробно описывает применяемые для строительства машины, орудия и инструменты.

### 3.1 Step by step по Витрувию [4]

Витрувий выделяет важные требования к субъекту проектирования (архитектору), к тем навыкам и знаниям, которыми он должен обладать, берясь за сложное дело преобразования среды «под себя». Для этого, отмечает Витрувий проектант «должен быть человеком грамотным, умелым рисовальщиком, изучить геометрию, всесторонне знать историю, внимательно слушать философов, быть знакомым с музыкой, иметь понятие о медицине, знать решения юристов, обладать сведениями в астрономии и в небесных законах».

Т.е. для проектирования зданий и городов необходим весь этот набор знаний и умений. При этом для своей ПрО Витрувий подробно обосновывает необходимость этих знаний.

*Грамотность* необходима архитектору, чтобы поддерживать память записями.

Уметь *рисовать* он должен для изображения при помощи рисунков задуманное им произведение.

*Геометрия* облегчает составление планов зданий и правильное применение уровней и отвесов.

Посредством *арифметики* составляют смету постройки, вычисляют её размеры и путём применения геометрических законов и выкладок разрешают сложные вопросы соразмерности.

Знакомство с *историей* необходимо потому, что архитекторы часто намечают в своих произведениях многочисленные украшения, в значении которых они должны уметь дать отчёт тем, кто этого потребует.

*Философия* возвышает дух архитектора и, искореняя в нём самонадеянность, делает его более обходительным, справедливым и честным. Архитектор не должен стремиться к наживе, а обязан поддерживать своё достоинство соблюдением своего доброго имени. Философия объясняет природу вещей, которую архитектору необходимо тщательно изучить, так как он имеет дело со многими физическими вопросами.

*Музыку* архитектор должен знать для того, чтобы быть осведомлённым в канонической и математической теории, а кроме того, быть в состоянии рассчитывать напряжение баллист, катапульт и скорпионов... Точно так же те медные сосуды, которые в театрах помещают в нишах под скамьями согласно математическому расчёту звуков различной высоты, распределяют по окружности соответственно музыкальным согласиям или созвучиям... для того чтобы голос актера, попадая в унисон с распределёнными таким образом сосудами и становясь от этого сильнее, достигал до ушей зрителя более ясным и приятным. Также гидравлические машины и другие подобные им орудия нельзя построить без помощи теории музыки.

*Медицину* надо знать для определения воздуха, здоровых местностей и пригодности воды...

### 3.2 Понятия в ПрО по Витрувию [4]

Витрувий чётко определяет состав своей ПрО - архитектура состоит из строя, расположения, ритмии, соразмерности, благообразия и расчёта. При этом Витрувий также чётко раскрывает и содержание используемых им понятий, опираясь на знания, соответствующие тому периоду науки и техники.

*Строй* есть правильное соотношение членов сооружения в отдельности и в целом для достижения соразмерности. Определяется количеством, которое состоит в выборе модулей из членов самого сооружения и соответственном исполнении всего сооружения по этим отдельным частям его членов.

*Расположение* есть подходящее размещение вещей и изящное исполнение сооружения путём их сочетаний в соответствии с его качеством. Виды расположения: ихнография, орфография, сенография.

*Ихнография* есть надлежащее и последовательное применение циркуля и линейки для получения очертаний плана на поверхности земли.



*Орфография* есть вертикальное изображение фасада и картина внешнего вида будущего здания, сделанная с надлежащим соблюдением его пропорций.

*Скенография* есть рисунок фасада и уходящих вглубь сторон путём сведения всех линий к центру, наменному циркулем.

Всё это начинается с размышления и изобретения. *Размышление* есть старательность, полная усердия, трудолюбия и бдительности, ведущая к желанному исполнению предприятия, а *изобретение* есть разрешение тёмных вопросов и разумное обоснование нового предмета, открытого живой сообразительностью.

*Евритмия* состоит в красивой внешности и подобающем виде сочетаемых воедино членов. Она достигается, когда высота членов сооружения находится в соответствии с их шириной, ширина с длиной, и когда всё соответствует должной соразмерности.

*Соразмерность* есть стройная гармония отдельных членов самого сооружения и соответствие отдельных частей и всего целого одной определённой части, принятой за исходную. Как в человеческом теле евритмия получается благодаря соразмерности между локтем, ступней, ладонью, пальцем и прочими его частями, так это бывает и в совершенных сооружениях. Например, в храмах соразмерность вычисляют по толщине колонны или по триглифу, в баллисте — по отверстию в её капители, в кораблях — по промежутку между уключинами, в других сооружениях — также по их членам.

*Благообразие* есть безупречный вид сооружения, построенного по испытанным и признанным образцам. Оно вырабатывается по установлению, по обычаю или по природе.

*Благообразие по обычаю* получается, когда здания, отличающиеся внутренним великолепием, снабжают также подходящими и изящными вестибулами. Если же внутренние части будут иметь изящный вид, а вход будет низким и невзрачным, то они будут лишены благообразия...

*Благообразие по природе* зависит от выбора наиболее здоровой местности и удобных источников воды в тех местах, где сооружаются святилища... Благообразие от природы получится в том случае, если спальни и библиотеки будут освещены с востока, бани и зимние помещения - со стороны зимнего заката, а помещения, нуждающиеся в ровном освещении, - с севера, потому что свет в этой области неба не усиливается и не ослабевает по мере движения солнца, а остаётся определённым и неизменным в течение всего дня.

*Расчёт* заключается в выгодном использовании материала и места и в разумной, бережливой умеренности в расходах на постройки. Это будет соблюдено, если архитектор не станет требовать того, чего нельзя ни найти, ни заготовить иначе, как за большие деньги.

Например, не во всех местностях достанешь горный песок, бут, ель, пихту и мрамор, но одно имеется здесь, другое там, а перевозка этих материалов затруднительна и дорога. Поэтому, где нет горного песка, следует применять речной или промытый морской; также при недостатке ели или пихты можно применять кипарис, тополь, вяз и сосну. Подобным же образом надо находить выход и из других затруднений. Следующим шагом в расчёте будет удобное расположение зданий, - предназначаются ли они для домохозяев, для хранения казны или для того, чтобы в них достойным образом звучала речь. Очевидно, что следует по-разному строить городские и сельские дома, для ростовщиков и для людей, живущих в довольстве и роскоши; для людей, стоящих у власти, постройка будет сообразной с их нуждами.

### 3.3 Правила постройки города по Витрувию [4]

Описания постройки городов и зданий у Витрувия – это вербальная реализация правил продукции в формате «*If-Then-Else*»:

«Если <условие...>, То <решение 1...>, Иначе <решение 2...>, <пояснение решения>».

Внимательное прочтение текстов Витрувия при желании позволит современным онтологам формализовать эти знания в вычислительной среде и тем самым воссоздать проектную модель городов и зданий периода классической античности. Конечно, не все нюансы подробно описаны Витрувием, но каркас идей достаточен для их программной реализации.

Итак, по Витрувию, прежде всего, надо выбирать наиболее здоровую местность. Она должна быть возвышенной, не туманной, не морозной и обращённой не к знойным и холодным, а к умеренным странам света, а кроме того, необходимо избегать соседства болот.

*Если* город будет расположен у моря и обращён на юг или запад, он не будет здоровым, так как летом южная часть неба нагревается при восходе солнца и в полдень пылает; точно так же часть, обращённая на за-

пад, при восходе солнца теплеет, в полдень бывает нагрета, а вечером раскалена. Таким образом, смена жары и охлаждения вредно сказывается на здоровье местных жителей.

Подобный же вывод можно сделать и из наблюдения неодушевлённых предметов. Например, в крытых помещениях для вина никто не делает освещения ни с юга, ни с запада, а с севера, так как эта часть неба ни в какое время не подвержена изменениям, а всегда постоянна и неизменна. Поэтому и зерно в житницах, обращённых к солнечному пути, скоро портится, а живность и плоды, хранящиеся не на стороне, отвращённой от солнечного пути, сохраняются недолго...

Поэтому, следует старательно выбирать самый умеренный климат.

При постройке городов или военных постов наши предки, принося в жертву пасшихся в этой местности овец, рассматривали их печень, и *если* в первый раз она оказывалась синеватой и больной, *то* приносили в жертву других, для выяснения, страдает ли скот от болезни или от дурного пастбища. И где после повторных наблюдений они удостоверились, что печень животных здорова и не страдает от воды и пастбища, там они строили укрепления. *Если* же они находили печень больной, *то* заключали отсюда, что и для людей будут вредоносны и вода, и пища, происходящие из этой местности, и потому уходили отсюда и переселялись в другие области в поисках, прежде всего, здоровых условий жизни.

*Если* город будет основан на болотистом месте, *то* при условии, что эти болота будут у моря, а город обращён на север или на северо-восток, болота же расположены выше морского берега, можно счесть, что город основан разумно. Ибо путём проведённых канав вода отводится на берег, а море, загоняемое бурями на болота, благодаря сильному прибою волн и своим морским примесям, не допускает разводиться там болотным тварям, а те из них, которые из вышележащих мест подплывают к самому берегу, уничтожаются непривычной для них солёностью. *Наоборот*, там, где болота стоячие и не имеют проточного выхода ни по рекам, ни по канавам, они, застаиваясь, загнивают и испускают тяжёлые и заразные испарения на всю округу.

Современный онтолог-проектант, опираясь на этот трактат, на чёткую структуру описания ПрО, поняв её принципы, легко сможет дополнить построенную онтологию современными артефактами, новыми атрибутами и отношениями, а также новыми важными критериями, отражающими современные потребности жителей мегаполисов.

## 4 Критерии в проектировании

Важнейшим элементом в онтологии проектирования является построение и/или выбор группы критериев, определение принципов их формирования. Ведь критерий - не только *мера оценки* тех или иных проектных решений, но и *вектор развития* проектируемого артефакта, проектируемых систем.

### 4.1 Критериальный анализ предметной области [23]

«Наука начинается там, где начинают измерять». Эти слова великого русского учёного Д.И. Менделеева как лакмусовая бумага определяют и отделяют науку от прочих видов человеческой деятельности. Но задолго до него о мере говорил причисляемый к «семи греческим мудрецам» Клеобул (VI в. до н.э.), которому приписывают изречение: «Мера лучше всего». Критерий — весь жизненный цикл (ЖЦ) и «ничего сверх меры». Таков фактический вывод и любимый афоризм другого мудреца — Солона Афинского (640–559 г. до н.э.): «Счастливец можно назвать только того, кто, прожив жизнь до конца, не познал горя и несчастья. Считать счастливым человека, ещё живущего, — всё равно, что провозглашать победителем воина, ещё не окончившего поединка». Солон впервые вместо принципа аристократического (принадлежность к определённым родам) ввёл имущественный принцип — принцип богатства. Суть реформы Солона — установление имущественного ценза, где за формальный критерий исчисления богатства им был избран *медимн* — мера сыпучих тел (приблизительно 50–60 л). Это, пожалуй, первая попытка учёного древности формализовать и классифицировать сложные сущности в социуме. Солон, рассуждая о счастье, пытался как-то оценить его, связав с ЖЦ и тем самым отделив его от сиюминутного удовольствия. Он рассматривал удовольствие как имитацию счастья, как иллюзию и утверждал, что «от богат-

ства родится пресыщение, от пресыщения — спесь», и советовал избегать чрезмерных удовольствий. «Забота об излишнем часто соединяется с потерей необходимого», — говорил он.

Пожалуй, первая и самая важная проблема, стоящая в моделировании ПрО, — это выявление, определение, нахождение и формулирование мер, способных адекватно оценить развитие процессов, протекающих в исследуемой области. «Правильно» подобранная группа критериев может обеспечить рост и жизнеспособность систем в будущем. Но выбору критериев и оценки их важности (предпочтений) всегда предшествует ещё более сложно формулируемая цель, которая в свою очередь определяется ценностями. Общее и частное, корпоративное и личное, общественное и индивидуальное, а также наличие объективно присутствующих временной и ресурсной составляющих — вносят в эти процессы почти неразрешимые противоречия, которые в конечном итоге определяют развитие одних систем и существенные потери или гибель других, а также появление новых. Поэтому важно осуществлять непрерывный мониторинг состояния среды функционирования разрабатываемых и эксплуатируемых систем, сверять их функционал с изменяющимися потребностями, адаптировать под новые задачи. Системы, позиционирующие себя как системы с ИИ, должны иметь соответствующие адаптационные возможности, подстраиваться под изменяющиеся предпочтения и потребности, учитывать конкурентную, а иногда и враждебную среду. Киберугрозы — это уже реальная практика «жизни» информационных систем.

Известно самое краткое определение критерия — мера оценки. Сам термин «критерий» (произошёл от древнегреческого) означает способность различения, средство суждения или мерило и является признаком, основанием, правилом принятия решения по оценке чего-либо на соответствие какой-либо мере. Ключевыми в этом понятии являются: *мера*, то есть то, что можно измерить или вычислить, и *оценка*, то есть возможность сравнить, сопоставить измеренное с другим, ранее измеренным или рассчитанным (прогнозируемым, планируемым значением какого-либо показателя). Многокритериальность в оценке любого проектируемого объекта или моделируемого процесса соответствует самой природе этих сложных систем.

## 4.2 Критерии устойчивости развития

Рассматривая проектирование через призму подготовки будущих проектантов, в обзорном отчёте [24] в качестве одного из основных критериев была выбрана «устойчивость». При этом большое внимание при обучении будущих проектантов уделяется их готовности к реальной промышленной работе («industry ready»). Следует отметить и возросшую историческую и этическую ответственность, которая ложится на современного инженера, вносящего изменения в среду [25, 26]. В работе [24] выделены шесть важных сфер, на которые должны быть ориентированы и которые должны исследовать проектировщики будущих систем и артефактов. Не все из приведённых сфер могут показаться очевидными для проектантов, занимающихся созданием многих систем и устройств, ввиду их опосредованного влияния на параметры проектируемых артефактов. Однако полнота влияния создаваемых артефактов на среду проявляется лишь в множественности этих малых изменений, вносимых человеком.

*Экологическая сфера.* Исторический взгляд на проектирование можно рассматривать как способ контролировать и покорять природу. Отличительной чертой цивилизации, инноваций и развития были такие структуры, как дороги, каналы, плотины и туннели, которые были построены для увеличения торговли и транспорта. Для этого вырубали леса, перемещали землю, извлекали ресурсы из природы и изменяли ход водных путей. Промышленная революция видела природу в изоляции, которая должна была эксплуатироваться, однако загрязнение среды привело к изменениям во взглядах и последующей политике в проектировании.

*Социальная сфера.* Социальное измерение устойчивости определяется состоянием социальной сплочённости и справедливости в доступе к ключевым услугам (здравоохранение, образование, транспорт, жильё, отдых).

Социальная устойчивость рассматривается как ответ на социальную *несправедливость*<sup>3</sup> и социальные проблемы, которые необходимо решать для достижения устойчивого развития. Однако, поскольку социальные ценности изменяются от культуры к культуре, понятие социальной устойчивости также диверсифицируется. Это приводит к многозначности термина «устойчивость». Фактически, все сферы устойчивости имеют социальное измерение, а не просто ориентированы на рыночные цели.

*Политическая сфера.* Проектирование часто использовалось в качестве эффективного средства для продвижения и достижения некоторого результата. Наглядный пример - проекты «Северный поток», «Сила Сибири», «Южный поток» и др., в которых вес политических решений для некоторых сторон является определяющим, хотя декларируется экономическая целесообразность. Проект и проектанты являются неотъемлемой частью политической системы и не могут стоять вне её.

*Экономическая сфера.* Движение за устойчивое развитие можно рассматривать как способ противодействия господству экономического рационализма, который стремится только содействовать частным интересам и неограниченному росту. Наблюдается противоречие между рыночным проектированием и «социально полезным проектированием», нарушается баланс экономики и экологии в устойчивом развитии, где часто предполагается утилитаристский и экономический приоритет над этическим и культурным [26].

*Технологическая сфера.* Проектирование часто ассоциируется с технологическими инновациями, которые рассматриваются как способ решения проблем. Ведущие дизайнеры разработали прототехнические системы и объекты для решения экологических проблем. Однако увеличение отходов, плановое устаревание и цифровые технологии ускорили оборачивание продукта. Эти объекты предназначены для замены более новыми моделями, при этом роль проектирования имеет центральное значение для продвижения потребительской культуры неустойчивыми способами.

*Духовная сфера.* Духовное измерение обсуждается не как религиозная основа, а как форма самосознания, саморазвития и осознанности, которая воспитывается<sup>4</sup>. Этот поворот «внутрь» ставит под сомнение текущее состояние бытия. Этика находится в центре практики, где здоровье и духовное благополучие включены. Этика, забота о земле, забота о людях и справедливая доля составляют основу проектирования пермакультуры<sup>5</sup>.

При подготовке проектантов важно помочь задать им критические вопросы для определения их возможных точек вмешательства в области проектирования, и представленные шесть сфер могут служить основой для этого процесса. Этот рефлексивный подход требует, чтобы студенты начинали с сознательного проектирования самих себя, когда проектирование становится внутренним движением изменений, а не внешним изменением систем, продуктов или моделей поведения. Рефлексивный подход требует также, чтобы и преподаватели учитывали своё собственное представление о проектировании, начиная с внутреннего движения изменений, а не с внешнего применения в учебной программе [24, 25].

Продолжая тему устойчивости, следует отметить важный аспект надёжности процессов проектирования и роль человеческого фактора в результатах этой деятельности. Современный процесс проектирования – это совместная работа множества людей и работа по нескольким видам деятельности. Эффективные методы анализа и моделирования процессов проектирования важны для понимания динамики организации, улучшения сотрудничества и планирования надёжных процессов проектирования, снижения риска переделок и задержек. Несмотря на значительный прогресс в моделировании и понимании процессов проектирования, мало что известно о взаимодействии людей и действиях, которые они выполняют, влияющих на надёжность процесса проектирования.

В статье [26] приведены результаты исследования *надёжности* проектирования процессов планирования, разработаны модели топологии деятельности, предложены измерительные инструменты и приведены примеры модельного эксперимента. При этом авторы пришли к очевидным, казалось бы, результатам, которые показали как распределение людей по ви-

<sup>3</sup> Любопытный факт. Подведены итоги традиционной акции «Слово года». Опубликованы самые популярные слова 2018 года по версии иностранных словарей. По версии словаря *Уэбстера* лидером топа стало слово justice — «справедливость». Эту лексему наиболее часто искали читатели сайта. - [https://versiya.info/interesnie\\_fakti/96420](https://versiya.info/interesnie_fakti/96420).

<sup>4</sup> Одна из основных идей ушедшего от нас социализма – *воспитание нового человека* (Homo Sovieticus) была вновь подхвачена В.А. Виттихом в разрабатываемой им эвергетике [5]. Возможно другого способа построить гармоничное общество, стремящегося к устойчивости своего развития, и нет.

<sup>5</sup> *Пермакультура* (от англ. permaculture — permanent agriculture) — подход к проектированию окружающего пространства и система ведения сельского хозяйства, основанные на взаимосвязях из естественных экосистем.



дам деятельности может скрыть присущую им уязвимость, делая процесс очень чувствительным и зависимым от конкретных людей, и что важно тщательно планировать назначение людей на ту или иную деятельность. Фактически известный лозунг «Кадры решают всё» получил в статье [27] новое научное обоснование и подтверждение.

Думается, что более рациональный и прагматичный подход к построению методологии деятельности изложен в статьях авторов нашего журнала профессоров В.А. Виттиха [28], П.О. Скобелева [29], Г. Ржевского [30], Д.А. Новикова [31] и др. В основе этих и других работ лежит онтологический анализ ПрО, рассмотрение человека как актора, как действующего субъекта, атрибутированного по свойствам, оказывающим существенное влияние на моделируемый процесс, с учётом выявления и фиксации своих собственных интересов. Адекватная модель субъекта проектирования, участника процесса позволяет строить человеко-машинные системы, максимально приближая результат моделирования к интеллектуальным системам, реализующим устойчивое развитие.

### 4.3 Критерии транспортной эффективности

Вопросы критериального анализа ПрО играют важную роль в проектировании. В журнале эта тема поднималась неоднократно и с разных позиций. С одной стороны, предлагаются методы решения многокритериальных задач, и здесь необходимо отметить, например, работы проф. С.А. Пиявского [32, 33]. С другой стороны, есть работы, в которых делается попытка формирования и обоснования обобщённых критериев [34, 35]. Следует отметить, например, статью проф. С.В. Микони, в которой предложено группирование обобщённых показателей транспортного средства (ТСр) с учётом интересов и предпочтений участников ЖЦ ТСр на множестве единичных показателей [34].

В этом разделе в качестве примера рассмотрена возможность формирования критерия, обобщающего оценки транспортных систем, взяв за основу физический принцип построения такой оценки, в частности, подобно тому как определяют коэффициент полезного действия (КПД) того или иного процесса. В данном случае - процесс доставки полезного груза. Этот пример призван показать возможности свёртки ряда однотипных и однородных показателей, базируясь на общих основаниях оценки той или иной грани проектируемого объекта. В данном случае в качестве объекта проектирования рассматривается ТСр, в частности, самолёт с двигательной установкой. Задача, стоящая перед разработчиками, связана с оценкой эффективности двигателя в системе этого многорежимного ТСр.

Большинство применяемых показателей таких ТСр составлены из различных лётных данных самолёта ( $L_n$  – дальность полёта,  $t_{H,M}$  – время выхода на заданный режим и др.) и массовых характеристик самолёта и двигателя ( $M_{кн}$  – масса коммерческой, боевой нагрузки,  $M_{СУ+Т}$  – суммарная масса силовой установки  $M_{СУ}$  и потребного на полёт топлива  $M_T$ ,  $M_0$  – взлётная масса самолёта, а также их относительных величин  $\dot{M}_{кн} = M_{кн} / M_0$ ,  $\dot{M}_T = M_T / M_0$  и др.). Сочетание лётных и технических характеристик самолёта, включая  $K$  – аэродинамическое качество самолёта,  $V_{рейс}$  и  $V_{кр}$  – рейсовую и крейсерскую скорости,  $L_{mex}$  – техническую дальность и др., породило большое разнообразие показателей транспортной эффективности самолёта. Из критериев подобного типа применяются:

- величина относительной часовой производительности самолёта  $\Pi = V_{рейс} \dot{M}_{кн}$ ;
- коэффициент транспортной эффективности (Юзов О.К., 1980)  $\kappa_{тр.эф.} = \Pi L_n = V_{рейс} \dot{M}_{кн} L_n$ ;
- критерий производительной отдачи (Шейнин В.М., 1977)  $t_{np} = \dot{M}_{кн} L_{mex} = \Pi L_{mex} / V_{рейс}$ ;
- параметр сравнительной оценки самолётов (Rowe N.E., 1958)  $t_R = 1 / \dot{M}_{кн} K$ ;
- удельный полётный расход топлива (Румянцев С.В., 1958)  $C_n = M_T / M_{кн} L_n$ ;
- транспортный КПД самолёта (Lundberg K.O., 1963)  $\eta_{mp} = M_{кн} L_n / H_u M_T = 1 / H_u C_n$ , где  $H_u$  – теплотворная способность топлива;

- условная дальность  $L_{усл} = K V_{кр} / C_{уд}$ , где  $C_{уд}$  - удельный расход топлива двигателей;
- показатель топливной эффективности (Wilkinson Kenneth, 1976)  $F_m = V_{кр} M_{кн} K / M_0 C_{уд}$ ,

В отличие от широко применяемого показателя как  $C_n$ , оценивающего топливную эффективность ТСр, часто возникает необходимость в оценке эффективности работы двигателя в системе самолёта. В качестве такого критерия может быть использован показатель, равный отношению полезной работы<sup>6</sup>, совершаемой самолетом по перевозке коммерческого груза, к затраченной энергии на его перемещение:

$$(1) \quad B = \int P_M(L) dL / H_u \int M_T(t) dt \approx \sum P_{M_i} \Delta L_i / H_u n_{\partial в} \sum C_{уд_i} P_i \Delta t_i,$$

где:

$P_{M_i}$  – сила на  $i$ -ом участке траектории, необходимая для перемещения условного ТСр с массой, равной величине массы коммерческого груза  $M_{кн}$ , при допущении, что тяговооружённость этого условного ТСр на каждом участке траектории равна тяговооружённости самолёта  $P_{M_i} = M_{кн} g \dot{P}_i$ . С учётом того, что масса  $M_{кн}$  по траектории полёта неизменна (за исключением случая сброса груза, после чего самолёт перестаёт быть ТСр), необходимо ввести поправку на потребную тяговооружённость в каждой точке траектории для сохранения аналогии в аэродинамических характеристиках условного самолёта, то  $P_{M_i} = M_{кн} g \dot{P}_i (1 + \sum M_{T_i} / M_0)$ ;

$P_i$  – тяга одного двигателя на  $i$ -ом участке траектории;

$C_{уд_i}$  – удельный расход топлива двигателя на  $i$ -ом участке траектории;

$\Delta t_i$  – время полёта на  $i$ -ом участке траектории;

$\Delta L_i$  – дальность полёта на  $i$ -ом участке траектории.

При обычных допущениях, типичных для оценки самолётов, имеющих один характерный режим полёта, показатель  $B$  следующим образом связан с полным КПД двигателя ( $\eta_0$ ) и известными параметрами Лундберга и Рове:

$$(2) \quad B = 1 / C_n H_u K = \eta_{mp} t_R \dot{M}_{кн} = \eta_0 \dot{M}_{кн}.$$

Таким образом, показатель  $B$  позволяет не только сократить число применяемых показателей транспортной эффективности путём их обобщения, но и более обоснованно подойти к оценке самолёта как ТСр, дав единое начало для анализа его транспортной эффективности. Рассмотренный подход не снимает все критериальные проблемы, ибо такие операции можно осуществить лишь внутри одной грани целого комплекса сторон сложной технической системы.

#### 4.4 Онтологические проблемы в экономике и обществе

Онтологические основы - это реальность, которую изучает экономика. В частности: каков онтологический статус экономических объектов; какова структура экономики или как связаны объекты экономики; как экономическая реальность связана с моделями, которые экономисты используют в своих теориях; *каковы цели экономической политики и экономической науки, и как они влияют на способы их достижения*; каковы процессы, происходящие в экономической реальности, и как они связаны с институтами, законами и нравами [36].

Из перечисленных вопросов интерес представляет соотношение между экономической онтологией и этикой. Этические проблемы экономики связаны с разделением экономической науки в позитивном и нормативном аспектах. Позитивная экономика не занимается этическими вопросами, изучая только то, что существует, в то время как нормативная - это то, каким должна (и могла бы) быть экономическая реальность. Обычно нормативная экономика отражает цели экономической политики, но сегодня всё больше исследуются этические ас-

<sup>6</sup> Под полезной работой понимается та часть затраченной работы на перемещение самолёта, которая приложена к массе целевой (коммерческой, боевой) нагрузки и необходима для её перемещения.



пекты человеческого поведения. Например, в Институте глобальных приоритетов (Лондон) учёные изучают «теоретические проблемы, возникающие у актеров, которые хотят использовать некоторые из своих скудных ресурсов для достижения как можно большего блага», то есть существуют проблемы приоритетов и эффективного альтруизма [36].

Ключевое различие между философской и экономической онтологиями состоит в том, что экономическая онтология относится к классу научных, а наука имеет дело с физическим миром, который должен быть доступен для наблюдения. Вот почему изучение поведения человека в неоклассической экономике основано на теории бихевиоризма, и именно поэтому экономика так близка к нейронауке. Философские онтологии менее связаны с формализацией наших знаний и наблюдением за реальностью.

Важным элементом онтологии является модель человека в экономике. Существуют разные способы изучения человека, например, как человека или индивидуума, как полностью социального существа или животного. Одним из наиболее обсуждаемых подходов является социобиология, имеющая много общего с нейроэкономикой. Экономическое понимание поведения человека основано на философских взглядах на человеческую природу. Необходимо раскрыть эти взгляды и понять, как они влияют на экономическое мышление человека. Ответ можно найти с помощью социологии. Естественные науки также могут помочь в этом вопросе, но для этого требуется включить нормативные темы в исследование человеческого поведения. Наиболее перспективными направлениями исследований в этой области являются: нейроэкономика; экономическая психология; экономическая социология. Возможно, самой важной является проблема онтологических предпосылок новых экономических подходов к поведению человека. Изучение онтологических проблем экономики может помочь систематизировать представления о различных аспектах экономической реальности благодаря таким областям исследований, как ИИ, цифровая экономика, нейроэкономика и биоэкономика [36].

#### 4.5 Критерии в экономике и обществе

О том, насколько важен онтологический анализ ПрО, можно судить из постановлений и иных документов правительств, озабоченных выработкой критериев оценки и стимулирования деятельности различных властных структур. Ведь разработать методики расчёта многочисленных показателей, адекватно отражающих интересы правительства<sup>7</sup>, как органа власти, без атрибутирования важных для него сущностей – невозможно. Десятки показателей затрагивают наиболее «болезненные» точки устойчивого развития общества, включая важную часть оценки удовлетворённости населения. Показатели касаются оценки денежных доходов населения, стоимости услуг жилищно-коммунального хозяйства, доступности жилья, устойчивости снабжения водой, тепловой и электрической энергией. Вопросы экологии (доля утилизированных твердых коммунальных отходов в общем объёме твердых коммунальных отходов; доля нормативно очищенных сточных вод в общем объёме сточных вод) и экономики (объём инвестиций в основной капитал на душу населения; плотность сети автомобильных дорог общего пользования) дополняются оценками населением условий для самореализации, удовлетворённости услугами в сферах образования, здравоохранения, культуры, социального обслуживания, а также эффективности деятельности органов государственной власти Российской Федерации, включая проявление коррупции.

Давая в руки региональным органам власти субъектов Российской Федерации инструмент в виде названных показателей, Правительство тем самым задаёт вектор развития территории, направляя и перераспределяя ресурсы, проектирует её ближайшее будущее.

---

<sup>7</sup> См. например, Постановление Правительства Российской Федерации № 1373 от 14 ноября 2018 г. «О методиках расчёта показателей для оценки эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации» - <http://static.government.ru/media/files/th7I46yKwfk5DNb4t0dEg1aBcFA00416.pdf>.

## 5 Стандарт в проектной деятельности - фиксатор актуальных практик

В журнале уже были публикации, в которых упоминались разрабатываемые и используемые стандарты при формализации знаний в проектной деятельности, включая различного рода терминологические стандарты (см., например [3, 19]). Важно отметить, что процесс актуализации стандартов идёт непрерывно. Так, в 2018 году Институтом управления проектами (the Project Management Institute - PMI) подготовлено уже четвёртое издание Стандарта управления программой (The Standard for Program Management)<sup>8</sup>. Этот стандарт является справочным руководством для специалистов и организаций, имеющих целью дальнейшее совершенствование своих практик управления программой. Управление программой, то есть практика группировки и координации взаимосвязанных проектов, является важнейшим инструментом достижения стратегических целей и успеха организации.

Стоит выделить важные понятия, которые используются в стандарте.

*Проект (Project)* - временное стремление создать уникальный продукт, услугу или результат.

*Управление проектом (Project Management)* - применение знаний, навыков, инструментов и методов для проектной деятельности для удовлетворения требований проекта.

*Портфолио (Portfolio)* - проекты, программы, вспомогательные портфели и операции, управляемые как группа для достижения стратегических целей.

*Спонсор (Sponsor)* - личность или группа, которая предоставляет ресурсы и поддержку для проекта, программы или портфеля и несет ответственность за успех.

*Заинтересованное лицо (Stakeholder)* - лицо, группа или организация, которые могут повлиять, могут пострадать или почувствовать себя затронутыми решением, деятельностью или результатом проекта, программы или портфеля.

*Выгода (Benefit)* - прибыль и активы, реализованные организацией и другими заинтересованными сторонами, как следствие результатов выполнения программы.

*Программа (Program)* - связанные проекты, вспомогательные программы и программные мероприятия, осуществляемые на скоординированной основе для получения преимуществ (выгод), недоступных для управления ими по отдельности.

В этом году вышел перевод уже шестого издания Руководства к Своду знаний по управлению проектами (PMBOK® Guide)<sup>9</sup> на 11 языках помимо английского (арабский, китайский, французский, немецкий, хинди, итальянский, японский, корейский, португальский, бразильский, русский и испанский). Это Руководство является ведущей публикацией PMI и является фундаментальным ресурсом для эффективного управления проектами в любой отрасли. В течение последних нескольких лет всё больше используют гибкие практики, которые включены вместе с традиционными подходами в шестое издание. Руководство PMBOK® и руководство по гибкой практике были созданы, чтобы дополнять друг друга. Вместе они являются мощным инструментом, который обеспечивает «правильный подход к правильному проекту».

## 6 Эвергетика Виттиха

Этот раздел нацелен на развёртывание научной дискуссии, предложенной В.А. Виттихом в его публикациях об *эвергетике* [5].

Исследования процессов управления в обществе продолжают и не поспевают за всё возрастающей сложностью [30]. Новая волна благостных теорий, в том числе и благодаря

<sup>8</sup> Стандарт. Управление программой — Четвертое издание (русское). Институт проектного управления. 2018 - 190 p. - <https://marketplace.pmi.org/Pages/ProductDetail.aspx?GMProduct=00101613701>.

<sup>9</sup> Руководство PMBOK® - Шестое издание. 2018 - <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>.

усилиям профессора В.А. Виттиха [28, 37], возвращает нас к истокам древнегреческих воззрений Платона, различных философских теорий и утопий общественного развития [38-42]. При этом бурное развитие информационных технологий предлагает спектр управленческих решений, способствующих решению локальных задач [18, 30, 37].

Что же является или может являться онтологическими доминантами в процессе развития общества и теми попытками его управления, которые осуществляют стоящие у руля властной, управленческой вертикали? Как можно использовать эти выявленные сущности в качестве управляющих воздействий? Каковы стратегические цели в управлении и моделируемом развитии и как формализовать локальные критерии, оценивающие управляющий эффект? Эти и другие вопросы волнуют автора, и он пытается найти ответы на некоторые из них, выявить аналогии, способствующие поиску решений, или, напротив, углубить проблему, расширить спектр нерешённых задач, выявить противоречия для созидательной дискуссии.

## 6.1 Главный инстинкт

В психологии принято ранжировать человеческие потребности, чаще всего представляя их в виде пирамиды. Нижняя ступень – физиологические потребности, верхняя – духовные. Абрахам Маслоу делил потребности по последовательности их удовлетворения, когда потребности высшего уровня возникают после удовлетворения потребностей уровнем ниже. Известная иерархия человеческих потребностей по А. Маслоу включает [43]: физиологию, безопасность, любовь, уважение, познание, эстетику, самоактуализацию. Причём вторую половину в общем случае называют потребностью в самовыражении, самореализации или в личностном росте. Фактически данная иерархия потребностей «расставляет» все известные биологические особи по ступеням их развития, от низших форм до высшей субстанции, тем самым указывая вектор их развития.

Потребность всегда выступает как движитель развития. «Природа не любит пустоты», поэтому она заложила или «вшила» в модель биологических существ потребность - внутреннее состояние психологического или функционального ощущения недостаточности чего-либо, которое проявляется в зависимости от ситуационных факторов [2].

Анализируя сущность мирового процесса в своей философии бессознательного Э. Гартман, солидаризируясь с Шеллингом в том, что «воля сама в себе есть потенция», писал: «...хотение есть акт, в основании которого лежит потенция, и что эту потенцию, это могущее-хотеть, о котором мы не знаем ничего, кроме того, что оно может хотеть, мы называем волею – это, по крайней мере, можно счесть общепризнанным» [41].

По своему трактуя Ф. Ницше, его логические цепочки от пессимизма, нигилизма, отсутствия смысла и цели к доминанте власти [44], можно предложить упрощённую схему реализации потребностей как развитие вида, расширение, захват, подчинение, подавление, стремление к обладанию новыми ресурсами. Т.е. главный инстинкт или потребность выражается в стремлении к приращению, к расширению сферы своего влияния в любом доступном направлении. Причём в «зачёт», осознанно и неосознанно, идёт всё. И формальное (карьера, награды, деньги), и неформальное (социальная и личностная оценки) превосходство, как в деле (бизнесе, науке, искусстве, спорте...), так и в социуме (семье, школе, обществе). Реализация доминирования происходит с учётом возможностей среды, в естественной борьбе за выживание как в случае естественного отбора для живых существ, так и в случае «искусственного» отбора свойств и параметров создаваемых артефактов, принятия решений при управлении в обществе и создаваемых социотехнических систем.

В этом контексте можно рассматривать пирамиду А. Маслоу как вектор развития и реализации потребностей как для живых существ (конкретного человека, организуемых им сообществ), так и для планируемых свойств и параметров артефактов. Когда удовлетворяются

потребности низшего уровня, человек не фокусируется на них и не ставит целью своей деятельности удовлетворение физиологических потребностей (они технологически решены). Можно говорить не только о сходстве принципов естественного отбора для биологического интеллекта и метода проб и ошибок для ИИ [45], но и о сходстве в иерархии целей, реализуемой как в управлении, так и при проектировании.

Разрабатываемые модели интеллектуальных агентов - агентов, имеющих «внутренние» цели и установки и взаимодействующих с изменяющейся средой, а также мультиагентное планирование - стремятся адекватно отражать процессы, происходящие в живой природе, перенося реализацию этих технологий на проектирование сложных систем и их функционирование [37]. Ключевым моментом в мультиагентных решениях, по мнению автора, является наличие онтологической доминанты *приращения*.

## 6.2 Флюксий исчисление или формализация приращений

Метод флюксий или флюксий исчисление, предложенное И. Ньютоном при определении скорости движения, позволил не только формализовать решение задачи, определить основные понятия производной (флюксия) и неопределённого интеграла как первообразной (флюента), но заложить основы дифференциального и интегрального исчисления. Как верно подметил Ф. Энгельс: «Лишь дифференциальное исчисление даёт естествознанию возможность изображать математически не только состояния, но и процессы: движение» [46]. Именно на важнейших понятиях математического анализа «приращение функции» и «приращение аргумента» базируются не только разделы математики, но и решаются многие прикладные задачи.

Математическая абстракция позволяет широко трактовать суть переменных и функций, рассматривая их как некий результат производимых действий или происходящих изменений с оценкой этого произведённого результата. Кажущиеся тривиальными на сегодняшней день формулировки приращений выглядят так.

Допустим,  $x$  – некоторая произвольная точка (или измеряемое состояние системы), которая лежит в какой-либо окрестности точки  $x_0$  (исходное состояние системы). Приращением аргумента в точке  $x_0$  называется разность  $x - x_0$  и обозначается  $\Delta x$ , т.е.  $\Delta x = x - x_0$ . Откуда следует:  $x = x_0 + \Delta x$ , т.е. начальное значение независимой переменной  $x_0$ , получило *приращение*  $\Delta x$ .

Если мы изменяем аргумент, то и значение функции тоже будет изменяться:  $f(x) - f(x_0) = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$ . *Приращением* функции  $f$  в точке  $x_0$ , соответствующим приращению  $\Delta x$ , называется разность  $f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$  и обозначается  $\Delta f$ . Таким образом:  $\Delta f = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$ .

Именно эти на первый взгляд простые записи позволили классикам диалектики увидеть глубокие содержательные обобщения в окружающем бытии, дать в руки исследователей инструмент онтологического анализа.

## 6.3 Фокус-покус Маркса или онтология мультиагентных технологий

Всеобщая формула капитала К. Маркса, известная как  $D - T - D'$ , гласит: «Купить, чтобы продать дороже, представляет на первый взгляд форму, свойственную лишь купеческому капиталу. Но и промышленный капитал есть деньги, которые превращаются в товар и потом путём продажи товара обратно превращаются в большее количество денег... В капитале, приносящем проценты, обращение  $D - T - D'$  представлено в сокращённом виде, в своём, так сказать, лапидарном стиле, как  $D - D'$ , как деньги, которые равны большому количеству денег, как стоимость, которая больше самой себя» [38]. Заслуга К. Маркса, как онтолога, в том, что в броуновском движении товарно-денежных оборотов он смог увидеть, выделить и описать сущности и отношения, ставшие классической схемой в мультиагентных технологиях.

Фокус-покус гениального К. Маркса раскрывается буквально одним абзацем, где классик материалистической философии демонстрирует суть того, что впоследствии назовут сетью



*потребностей и возможностей* в открытых системах [37]. В главе «Противоречия всеобщей формулы» знаменитого «Капитала» он писал:

«Как капиталист, я покупаю товар у **A** и продаю его затем **B**; как простой товаровладелец, я продаю товар **B** и потом снова покупаю товар у **A**. Для деловых друзей **A** и **B** этого различия не существует. Они выступают лишь в качестве продавца и покупателя товаров... Для меня купля у **A** и продажа **B** образуют один последовательный ряд. Но связь между этими двумя актами существует только для меня. **A** нет никакого дела до моей сделки с **B**, **B** — никакого дела до моей сделки с **A**... В самом деле: мой первый акт, купля, есть продажа с точки зрения **A**, мой второй акт, продажа, есть купля с точки зрения **B**. Не удовлетвовавшись этим, **A** и **B** заявят, кроме того, что весь этот порядок следования есть совершенно излишний *фокус-покус*<sup>10</sup>. **A** мог бы прямо продать свой товар **B**, **B** прямо купить у **A**. Вместе с тем вся сделка превращается в односторонний акт обычного товарного обращения — продажу с точки зрения **A**, куплю с точки зрения **B**. Таким образом, перевернув порядок следования актов, мы не вышли из сферы простого товарного обращения: нам приходится поэтому посмотреть, допускает ли природа самой этой сферы возрастание входящих в неё стоимостей, а, следовательно, образование прибавочной стоимости» [38].

Заслуга К. Маркса для современных информационных технологий состоит также и в онтологическом анализе рабочей силы, важной сущности в производстве любой продукции и услуги. Здесь в главе 3 «Купля и продажа рабочей силы» философ преуспел в подробном обосновании и объяснении будущих моделей агентов рабочей силы. Трудно удержаться и не привести весь его текст без купюр, из которого ясно виден материалистический строго формальный подход к построению модели агентов рабочей силы. Для разработчиков мультиагентных приложений, моделирующих социотехнические системы и базирующихся на онтологиях ПрО, это наглядный пример скрупулезного онтологического анализа. Но приведём лишь наиболее значимые на взгляд автора положения К. Маркса.

«Под рабочей силой, или способностью к труду, мы понимаем совокупность физических и духовных способностей, которыми обладает организм, живая личность человека, и которые пускаются им в ход всякий раз, когда он производит какие-либо потребительные стоимости... Для поддержания своей жизни живой индивидуум нуждается в известной сумме жизненных средств. Таким образом, рабочее время, необходимое для производства рабочей силы, сводится к рабочему времени, необходимому для производства этих жизненных средств, или стоимость рабочей силы есть стоимость жизненных средств, необходимых для поддержания жизни её владельца» [38].

Здесь видно, что способности индивида – это его физические или духовные *возможности*, а *потребности* – это жизненные средства или стоимость его труда.

Развивая «верное» учение и рассматривая жизнь как процесс управления можно записать обобщённую формулу в виде:  $O - D - O'$ , где  $O$  – это то чем обладаю на начальный момент, то что имею, использую;  $D$  – это действие, бездействие, управляющее воздействие, которое может быть произведено;  $O'$  – это то что стало в результате действия, то измененное состояние, которое содержательно приросло или убыло.

Положительное приращение  $\Delta O = O' - O$ , как и в случае с реализуемой прибавочной стоимостью, говорит о развитии, росте, экспансии и доминировании системы. Отрицательное значение, напротив, - предвестник и свидетель поглощения и возможной гибели.

## 6.4 Аналоговая модель регуляторных систем

Аналогия часто используется при копировании готовых успешных решений. Созданный за миллионы лет организм высших животных вобрал в себя колоссальный экспериментально отработанный опыт сосуществования в сложной изменяющейся среде. Он состоит из множества систем и органов, способных к согласованной работе. Пока известны две так называемые регуляторные системы, с помощью которых организм приспосабливается к постоянным

---

<sup>10</sup> Здесь хотелось бы прервать повествование Маркса цитатой из более поздних работ российских учёных: «Каждый холон обладает потребностями и возможностями... Каждый холон ищет подходящие возможности других холонов для удовлетворения своих потребностей... Для совершения таких обменных операций в системе вводится обций эквивалент (например, деньги)» [37].

внутренним и внешним изменениям. Одна из них – нервная система, передающая сигналы через сеть нервов и нервных клеток; другая - эндокринная, осуществляющая химическую регуляцию с помощью гормонов, которые переносятся кровью и оказывают воздействие на отдалённые от места их выделения ткани и органы.

Термин «гормон» впервые был использован в работах английских физиологов в начале XX столетия, имеет древнегреческие корни и означает «возбуждаю, побуждаю», что соответствует их функциональному назначению. Гормоны вырабатываются в специализированных клетках желез внутренней секреции, поступают в кровь и оказывают регулирующее влияние на обмен веществ и физиологические функции. Считается, что гормоны регулируют активность всех клеток организма. Т.е. фактически гормоны предназначены для управления функциями организма, их регуляции и координации, при этом химическая система связи взаимодействует с нервной системой.

Для исследования процессов управления важно также понятие гомеостаза как саморегуляции или способности открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. С гомеостазом связано стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление внешней среды.

Сравнивая процессы, происходящие в организме и обществе, можно говорить о возможном применении аналогии в моделях их управления. Нервная система в организме исполняет роль централизованной (вертикальной) системы общественного управления, а эндокринная система моделирует локальное (горизонтальное) местное регулирование, в котором гормоны играют роль активных побуждающих акторов. Как видим, можно говорить, что и на уровне организма природа взяла обе известные системы управления, которые в системе общественного управления аналогичны тоталитарной и демократической. Их разумное сочетание позволяет справляться с возникающими по жизни проблемами и решать насущные задачи.

Исследование реализованного природой механизма саморегуляции в организме высших животных, наряду с моделями колоний муравьев, косяков рыб, роя птиц и других сложных биологических организаций, позволит воспроизводству выработанного эволюцией опыта в социальные организмы, использованию его в управлении и регулировании.

## 6.5 Эвергетика, научный коммунизм или человек, включённый в процесс

Идеалистическая философия Платона во многом способствовала развитию онтологии в её современном понимании, когда экземплификация материального мира представляется в форме специфицируемой концептуализации. Идеи блага и справедливого государства Платона дали толчок многим научным теориям, нацеленным на построение и управление обществом. Нерешённые и неразрешимые проблемы управления в обществе вновь и вновь на каждом новом витке истории толкают учёных на поиск новых теорий, способных осветить путь или подход к пути, где возможны консенсус, компромисс, толерантность, где царит мир и согласие и «вселенское счастье» переполняет души членов сообщества.

Нельзя не вспомнить «Золотую книжечку, столь же полезную, сколь и забавную о наилучшем устройстве государства и о новом острове Утопия» или просто «Утопию» Томаса Мора (1516), философское произведение Томмазо Кампанеллы «Город Солнца» (1602), частично реализованные социалистические проекты в XX-ом столетии, «Проект Венера» Жака Фреско и многие другие многочисленные благостные теории и не всегда таковую практику их реализации. Идеи Жака Фреско (1916-2017) - американского инженера, промышленного дизайнера и футуролога, ушедшего в один год с В.А. Виттихом, - это симбиоз социальных, этических, экологических и инженерных решений. Проект направлен на достижение мирной, устойчивой, стабильно развивающейся глобальной цивилизации, через переход ко всемир-



ной ресурсо-ориентированной экономике, всеобщей автоматизации, внедрению всех последних научных достижений во все области жизни человека и применению научной методологии принятия решений. При этом Ж. Фреско прекрасно понимал, что построенный им «город Солнца» может и не будет «оптимальным» для его потомков, как одежда, скроенная родителями, может показаться «смирительной рубашкой» для них<sup>11</sup>.

Активно продвигаемая в своё время В.А. Виттихом эвергетика как ценностно-ориентированная наука о процессах управления в обществе [5, 28] вбирает в себя лучшие черты ушедших от нас социалистических установок, ориентированных на воспитание сознательных граждан-акторов. Отдавая должное важной теме и полностью солидаризуясь с рассматриваемыми установками, тем не менее, есть ряд серьёзных, волнующих автора вопросов.

В сложных системах присутствуют субъекты, где актор исполняет «узкую ролевую функцию», и объекты управления. В определении эвергетики участниками являются лишь акторы, «оценивающие ситуацию в процессе многостороннего диалога» [28]. А какова роль иных участников, не акторов, и есть ли они? Всегда ли возможен диалог, и чём он обеспечивается? Эти и другие, по мнению автора, важные и возможно технологические вопросы требуют детальной проработки для реализации благодной парадигмы сосуществования и устойчиво развивающегося общества.

Важнейшей онтологической доминантой в процессах управления общества и социотехнических систем является, по мнению автора, потребность в *приращении*, которая может быть воспроизведена в мультиагентной парадигме современных информационных технологий. Сама же эта потребность адекватно реализуется лишь в человеко-машинной системе, где человек, включённый в неё, соотносит свои потребности с возможностями общества. А для этого нам нужен человек разумный, актор, способный на консенсус во благо общества, так как он сам часть его самого и целиком зависит от него. Поэтому важным, а возможно и определяющим, является исследование самого человека [26], его внутреннего механизма принятия решения, его внутренней движущей силы, факторов, влияющих на них.

## 7 Теория чувств Адама Смита

Существенный вклад в исследование субъекта проектирования, субъекта деятельности внёс известный экономист и философ-этик, один из основоположников экономической теории как науки Адам Смит (1723-1790). Его книга о теории нравственных чувств ещё при жизни выдержала 6 изданий. Полное название «Теория нравственных чувств или Опыт исследования законов, управляющих суждениями, естественно составляемыми нами сначала о поступках прочих людей, а затем и о своих собственных» [47] вдохновляет читателя на прочтение и разбор движущих причин своих и чужих поступков. Чего стоит подробный анализ таких человеческих качеств как «о приличии, свойственном нашим поступкам, о чувстве приличия, о симпатии, об удовольствии взаимной симпатии, о страстях антиобщественных, общественных и эгоистических, о влиянии благополучия или несчастья на наши суждения о поступках ближних, о пороке и добродетели или о поступках, заслуживающих награды, и о поступках, заслуживающих наказания, о справедливости и благотворительности, о влиянии случая на чувство одобрения или неодобрения поступка, об основании наших суждений о собственных поступках и чувствах, а также о чувстве долга» и многих, многих других.

Именно этот скрупулёзный анализ субъекта деятельности позволил Смиту в дальнейшем перейти к построению модели капиталистического общества, адекватной эпохе развития не только производственных сил и отношений, но и сформировавшихся культурных традиций.

Вот лишь несколько цитат из его книги, который автор счёл важным привести [47].

---

<sup>11</sup> Лекции Жака Фреско. 22.07.2016. - <https://www.youtube.com/playlist?list=PLo0e-Y8VmNtELMvoKruehnQyTKMFLObAP>.

Ничто так легко не забывается, как физические страдания. Как только боль прекратилась, то представление о том, что мы испытывали, более не возмущает нас: мы с трудом припоминаем беспокойство и страдания, которые причинялись ею. Неосторожное слово друга поражает нас на более продолжительное время: возбуждённое им страдание не исчезает тотчас. И боль, причинённая нам в таком случае, вызывается вовсе не предметом, действующим на наши органы чувств, но представлением, вошедшим в наше воображение...

Чувство любви приятно само по себе для испытывающего его человека. Оно нежит и ласкает сердце; оно способствует всем жизненным проявлениям и наиболее здоровому состоянию, какое только свойственно человеческому организму; оно становится всё приятнее от осознания счастья и взаимности, внушаемой в том, на кого обращено оно. Уже одни взгляды друг на друга двух любящих доставляют им счастье, а сочувствие, возбуждаемое этими взглядами в посторонних, делает влюблённых интересными для всякого человека...

Во многих государствах люди, стремящиеся получить право на занятие высших должностей, становятся выше законов, и если честолюбие их удовлетворено, то они не опасаются, что кто-нибудь обратился к ним с вопросом, какими средствами они достигли своей цели. А между тем они весьма часто вытесняют или уничтожают своих соперников или людей, которые могут стать на их дороге, не только путём обыкновенной интриги или хитростью и коварством, но и прибегая к ужаснейшим преступлениям, убийствам, гражданской войне...

За три столетия культурная и технологическая среда человеческой цивилизации существенно изменилась, особенно в возможностях массового влияния на поведение людей и на среду обитания. Начало XXI столетия показывает кризис капиталистической модели, хотя эта модель и активно дрейфует в сторону социально-ориентированных экономик. Это не столько социальный кризис, описанный и предсказанный Марксом, сколько кризис ресурсный. Экзо-скелет сформированной модели общественного устройства, основанной на потребительской экономике, упирается в исчерпаемость земных ресурсов и по всем прогнозам неизбежно ведёт к краху<sup>12</sup>.

Теория нравственных чувств Адама Смита в науке о проектировании артефактов остаётся актуальной и сегодня, т.к. демонстрирует качественный атрибутивный анализ субъекта проектирования, стремясь выявить предпочтения, влияние и учёт неопределённости, цели и ценности субъекта, механизм принятия решений.

## 8 Онтология проектирования Геро

В представленном обзоре работ по онтологии проектирования нельзя не упомянуть известного австралийско-американского профессора Джона С. Геро, соредатора журнала «Наука проектирования» (Design science), упомянутого в первом разделе данной статьи. За 50 лет (начиная с 1968 года) Джон С. Геро опубликовал более 50 книг и тематических сборников статей по оптимизации, экспертным системам и ИИ в инженерии и проектировании. Серия книг «ИИ в проектировании» под его редакцией выходит с 1989 года, например [48-50]. Считается, что идея функции-поведения-структуры (Function-Behavior-Structure) - или коротко FBS принадлежит Джону С. Геро и его сотрудникам, хотя подобные идеи были разработаны независимо и другими исследователями, в том числе и в России.

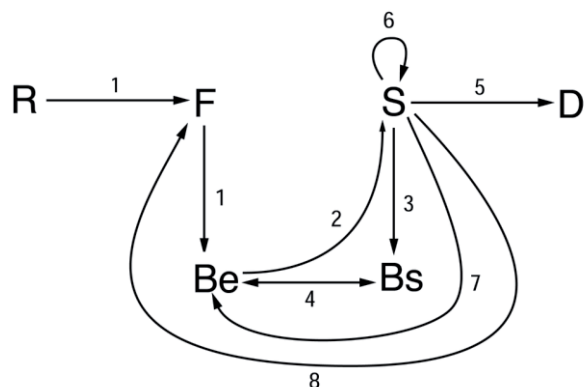
Онтология FBS - это онтология объектов проектирования, то есть вещей, которые были или могут быть спроектированы. Онтология FBS концептуализирует объекты проектирования в трёх онтологических категориях: функция (F), поведение (B) и структура<sup>13</sup> (S). Онтология FBS используется в науке о проектировании в качестве основы для моделирования процесса проектирования как набора отдельных действий (см. рисунок 1).

<sup>12</sup> von Weizsaecker, E., Wijkman, A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. — Springer, 2018. — 220 p. - <https://www.clubofrome.org/2017/10/25/new-report-to-the-club-of-rome-come-on/>.

<sup>13</sup> В качестве структуры чаще приводят примеры конструкций узлов, агрегатов и машин, хотя можно интерпретировать эту онтологическую модель на любую систему, где структура – это не обязательно конструкция, а в том числе и семантическая модель проектируемой (моделируемой) системы, над которой проводят исследовательские эксперименты.

В одной из последних работ Д. Геро с коллегами исследовал вопрос сравнения процессов проектирования теоретиков и практиков проектирования [51]. Вербализация участников во время командных дискуссий была закодирована с использованием онтологии FBS. Качественное сравнение показало, что команда практиков создаёт пространство проектирования раньше и, как правило, проводит больше времени в пространстве решений, чем команда теоретиков. Кроме того, команда практиков имеет значительное количество прямых переходов от функции (F) к структуре (S), в отличие от команды учёных.

Д. Геро активно разрабатывает онтологически обоснованные шаблоны проектирования в параметрическом проектировании, результаты экспериментального исследования которого, надеемся скоро, будут опубликованы<sup>15</sup>.



- R – требования, F – функции, Be – ожидаемое поведение, Bs – поведение, полученное от сгенерированной конструкции, S – структура (конструкция), D – описание проекта.
- 1 – формулировка проблемы,
  - 2 – синтез структуры,
  - 3 – анализ поведения сгенерированной конструкции,
  - 4 – сравнение,
  - 5 – разработка документации,
  - 6 – тип переформулирования 1 (изменяет пространство состояний структуры, основываясь на переосмыслении структуры  $S \rightarrow S'$ ),
  - 7 – тип переформулирования 2 (изменяет пространство состояний поведения, основываясь на переосмыслении структуры  $S \rightarrow Be'$ ),
  - 8 – тип переформулирования 3 (изменяет пространство состояний функции, основываясь на переосмыслении структуры и последующей переформулировке ожидаемого поведения  $S \rightarrow F'$  через Be).

Рисунок 1 – Онтологическая модель проектирования FBS профессора Джона С. Геро (The Function-Behaviour-Structure Framework)<sup>14</sup>

## 9 Аэрокосмические онтологии проектирования

Учредители журнала, многие члены редколлегии и авторы нашего журнала в той или иной мере связаны с аэрокосмической тематикой, применением информационных технологий, автоматизированных систем, баз данных и знаний и иных приложений в этой наукоёмкой отрасли. Знаковыми публикациями в данной ПрО, по мнению автора, в нашем журнале являются: работы немецких коллег С. Фогеля и С. Рудольфа, разработавших и использующих языки проектирования [52], теоретические основы проектирования силовых аддитивных конструкций, изложенные в статье проф. В.А. Комарова [53], ряд работ, выполненных в Самарском университете на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов, по созданию прототипа интеллектуального помощника проектанта на примере дозвуковых гражданских самолётов [54], работы и программные продукты, разрабатываемые в Ульяновском техническом университете под руководством проф. П.И. Соснина [55].

В этом номере журнала можно отметить новый проект космического ракетного комплекса на базе ракеты-носителя сверхлёгкого класса, представленный большим коллективом авторов из ведущих предприятий и университетов России [56], и многие другие разработки.

<sup>14</sup> См. например: Gero, JS and Kannengiesser, U (2013) The FunctionBehaviour-Structure ontology of design, in Amaresh Chakrabarti and Lucienne Blessing (eds), An Anthology of Theories and Models of Design, Springer.

<sup>15</sup> Yu, R and Gero, JS. Ontologically based design patterns in parametric design - result from a pilot study. 2018. - <http://mason.gmu.edu/~jgero//publications/progress.html>.

## 10 Субъект проектирования осознающий

В нашем журнале робко, но с интересом наблюдают за тем, что происходит по ту сторону непознанного, каково современное состояние исследований в области сознания, как процесса, и мозга, как среды его формирования. Онтология проектирования как интегративная дисциплина рассматривает вопросы психологии проектной деятельности, пытается найти ключ к пониманию формирования образов и новых идей в сознании проектанта с надеждой формализовать эти сложные процессы в искусственных системах. Онтология проектирования во многом базируется на интерсубъективной теории, когда человек, как деятельностный субъект, актор в проектировании, не просто включён в процесс - он сам является его частью. Так же как и во многом непознанное его сознание [1].

Наши «ядерные» авторы и читатели журнала – это специалисты, заточенные на область computer science & engineering, поэтому в основе их научного поиска лежит стремление формализовать те действия и процедуры, которые они исследовали, изучили и освоили в своей практической деятельности. Это стремление выявить, зафиксировать и формализовать связано с теми знаниями, которые проявляются «внешне» из нашего опыта. В ИИ и робототехнике реализация в большинстве своем сфокусирована на исследованном и изученном именно этом «внешнем» механизме, который проявляется в деятельности человека. Исследования же механизма естественного интеллекта пока далеки от возможной реализации не только в силу иной физическо-химической (и не только) природы, но и потому, что как это происходит «внутри», как работает этот «механизм», созданный природой, как он принимает решения, нам неизвестно и недоступно, чаще вне нашего внимания. При этом богатая практика в истории науки и техники показывает [25, 57], что многие «лучшие решения» человечество смогло получить, разобравшись с тем, как это «сделано» в природе. Изучение «внутреннего» механизма формирования знания и принятия на его основе решений, - есть актуальная тема в рамках онтологии проектирования.

Поэтому очень важны результаты обобщений, моделей и современные взгляды на эту проблему, сопоставление онтологий мозга, мозговой деятельности с тем как современные инженеры реализуют искусственный «разум» в своих ПрО. Возможно, что фундаментальные теории мозга и разума, фундаментальная теория, описывающая соотношение мозга и разума, в сочетании с потребностью теории принятия решений, разрабатываемой в разных ПрО, моделированием будущего в различных его проявлениях - могут иметь общий базис в описании, общую содержательную онтологию. Автор уверен, что в рамках онтологии проектирования взгляд, позиция, посыл нейробиологов, исследующих и моделирующих мозг, даст определённый импульс разработчикам систем ИИ.

О нерешённых проблемах науки о сознании в нашем журнале писал проф. А.Ю. Агафонов [58], о феноменологии возможных миров человека, экзистенциальной онтологии проектирования - проф. Ю.М. Резник [59], о мозгоподобных преобразователях информации - проф. Г.Г. Четвериков [60]. Так, в статье [58] обсуждались наиболее важные проблемы, связанные с изучением феноменологии сознания: проблема объяснительного разрыва и когнитивного назначения осознанности. При анализе осознания выделены феноменальный и качественный аспекты. Квалиа («то, каково это переживать») обеспечивает субъективную очевидность испытываемых субъектом переживаний и является важнейшим условием осознанности. Показано, что специфическая роль сознания в осуществлении познавательной деятельности заключается в обнаружении ошибок. Опровергающий опыт играет позитивную роль. Именно благодаря осознанию человеческий разум приобретает поразительную гибкость в понимании действительности. На сегодня остаётся ещё много вопросов, требующих построения такой теории сознания, которая бы представляла собой не просто логические построения, но опиралась бы, прежде всего, на твердые эмпирические основания [58].



Как раз такую гиперсетевую теорию мозга и сознания<sup>16</sup> разрабатывает чл.корр. РАН проф. К.В. Анохин. По его утверждению, сознание - некий психологический феномен, происходящий в рамках физического объекта «нервная система» (или какого бы то ни было иного физического субстрата) и заключающийся в субъективном восприятии окружающей реальности и некоторых внутренних состояний организма с формированием квалиа и возможностью саморефлексии и объяснения.

Гиперсетевая теория мозга начинается с того, что описывает мозг как нейронную гиперсеть – высокоуровневую структуру, обычно известную под именем «разум». Процессы, протекающие в данной структуре, и есть «психические процессы». Теория объясняет истоки их субъективности и выделяет два класса таких процессов: закрытые и феноменальные. Последние тождественны «сознанию».

Сознание – движением, поток, состояние, процесс, который протекает в какой-то структуре, в данном случае в мозге. Мозг – биологический орган, изучаемый биологами, физиками, философами, способный генерировать мысль.

*Когнитивная система* (К-система), или когнитом, в определении К.В. Анохина - это система субъективного опыта, сформированная у организма в процессе эволюции, развития и индивидуального познания; это скрытая от нашего непосредственного восприятия и проявляющаяся в феноменологии и поведении реальность. Структура и динамика когнитома охватывает всё многообразие ментальных явлений, связанных с поведением, психикой и сознанием. «Когнитом» следует читать так же как «геном», и он может быть описан в понятиях *гиперсетей*. Я – это когнитом, это моё осознание себя, своего Я.

*Когнитивная группа* (К-элемент) или ког – это кооперативная группа нервных клеток, обладающая причинным потенциалом, не сводимым к эффектам отдельных составляющих эту группу нейронов; это когнитивная группа нейронов, активность которой обуславливает элемент специфического опыта целого организма; это ментальный «атом» в К-системе.

Уровни К-систем по Анохину К.В. включают: *холоны*, которые определяют такты глобальных качественных состояний (макроквалий) К-систем; *опероны*, которые определяют целые акты К-систем, их движущие силы и порождающие процессы в них; *квалоны*, которые составляют дискретное многообразие категорийных единиц (микроквалий) в К-системах.

## 11 Онтология проектирования в лицах

### 11.1 Онтология проектирования в лицах ушедших героев

С момента основания журнала редакция определила для себя добрую традицию чтить и почитать тех, кто внёс значимый вклад в онтологию, в проектирование, в описание предметных областей и формализацию процессов в них, в структуризацию потоков данных и информации, в классификацию и атрибутирование объектов, в поиск смыслов, в разработку языков и понятий.

Стоит признаться, что у редакции не было чёткого плана и некоторого строгого порядка, в который можно было бы попытаться в историческом разрезе представить картину в лицах ушедших от нас героев. В своих статьях «От редакции» первыми были хорошо известные основатели онтологии - древнегреческие философы Сократ, Платон и Аристотель. Причём последний традиционно наиболее часто упоминается современными онтологами как её осно-

---

<sup>16</sup> Открытая лекция К. В. Анохина «Сознание и мозг - последний рубеж нейронауки», Московский институт психоанализа, Москва, 05.2017 г. (источник: <https://www.psychol-ok.ru/lib/media/2017/0604.html>), а также курс К.В. Анохина «Сознание и мозг. Последний рубеж» 03.10.2018. - <http://spkurdyumov.ru/networks/kurs-soznanie-i-mozg-poslednij-rubezh/>.



ватель. В последующих номерах стали вспоминать и тех, кто был до них (Питтак, Солон, Фалес, Клеобул и др.) и кто развивал их идеи (Теофаст, Евклид, Эпикур, Архимед и др.)

Далеко не полный перечень учёных, которых смогли упомянуть в вышедших номерах в статьях «От редакции», представлен на рисунке 3. Здесь по временной шкале (сверху-вниз) приведены имена учёных, годы их жизни и те ключевые фразы, которые были приведены в статьях, посвящённых этим героям. Отмечен также номер и год выпуска журнала, в котором информация об учёном была представлена редакцией.

Из рисунка 3 видно, что Витрувия и Виттиха, отмеченных в названии статьи, разделяет два тысячелетия, и что лишь с десяток имён учёных удалось почтить в вышедших номерах в этом бесконечно продолжающемся списке. Среди них великий Леонардо да Винчи – учёный, художник, изобретатель; доктор математики, физики и медицины Рудольф Гоклениус, впервые определивший понятие онтологии в философском словаре; Фридрих Дессауэр – биофизик, радиолог, философ-неотомист, рассматривающий технику не только как часть природы, подчиняющуюся её закономерностям, но и как некую «трансцендентную сущность», выходящую за пределы человеческого познания; Иммануил Кант – родоначальник немецкой классической философии.

В фокусе редакции оказались и наши современники: Н.Д. Кузнецов – генеральный конструктор авиационных двигателей, О.С. Самойлович – заместитель генерального конструктора авиационной техники, С.П. Капица – профессор и популяризатор науки, Ю.Р. Валькман – профессор, член редколлегии нашего журнала.

Надеюсь, что редакция продолжит это важное для всех дело отдавать должное тем, на плечах которых мы стоим и имеем возможность развиваться.

## 11.2 Онтология проектирования в лицах наших авторов

В этом разделе кратко представлен статистический материал по итогам выпуска всех номеров журнала «Онтология проектирования». Было интересно проследить за 8 лет географию наших авторов по городам, странам, организациям, посмотреть распределение авторов по возрасту, полу и научному статусу.

Общее за 8 лет количество опубликованных научных статей в журнале более 200, количество представленных ими организаций превысило 100 из почти 50 городов 10 стран мира. Соотношение авторов мужчин и женщин в пользу первых 69% против 31%.

Распределение цитирований по авторам цитируемых публикаций по данным РИНЦ с 1 по 28 номер журнала включительно показано на рисунке 2. Первую пятерку наиболее цитируемых авторов представляют члены редколлегии журнала, которые, правда, и опубликовали наибольшее количество статей в журнале, попав в десятку наиболее публикуемых авторов. Так, по данным РИНЦ эта десятка распределилась следующим образом: Боргест Н.М., Пиявский С.А., Нечаев Ю.И., Виттих В.А., Клещёв А.С., Левин В.И., Ломов П.А., Бухановский А.В., Скобелев П.О., Смирнов С.В.

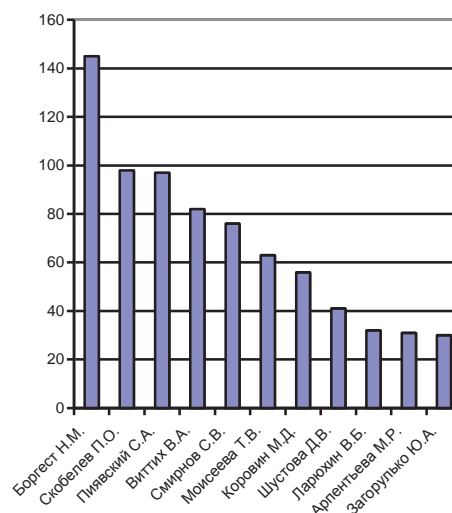


Рисунок 2 – Распределение цитирований по авторам цитируемых публикаций (по данным РИНЦ с 1 по 28 номер журнала включительно)

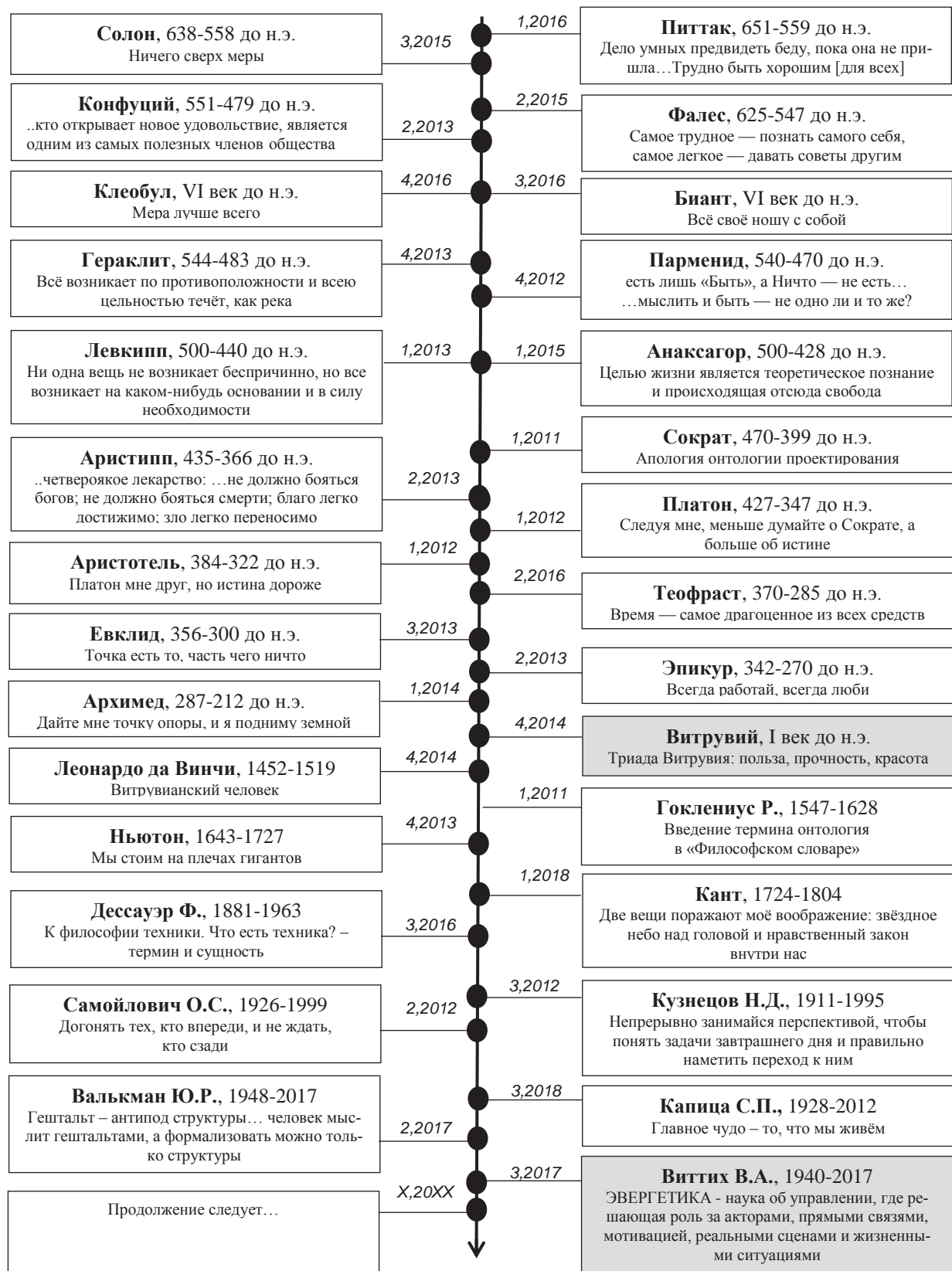


Рисунок 3 – Учёные (далеко не полный перечень по временной шкале), внесшие вклад в онтологию и проектирование, чьи имена упомянуты в журнале «Онтология проектирования» в статьях «От редакции» за период 2011-2018 гг.

Представляет интерес распределение цитирующих публикаций наших авторов в других журналах. По данным РИНЦ всего таких 155 изданий, в которых были процитированы статьи, опубликованные в нашем журнале. Среди них можно выделить многочисленные *Вестники университетов России*, в частности, Самарского государственного технического университета, Самарского университета, Ульяновского государственного технического университета, Иркутского государственного технического университета, Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, Тамбовского университета, Воронежского государственного университета, Дагестанского государственного университета, *Известия ЮФУ*, Волгоградского государственного технического университета и многих других. Много ссылок в журналах «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», «Информационные и математические технологии в науке и управлении», «Искусственный интеллект и принятие решений», *Известия СНЦ РАН*, *Известия РАН. Теория и системы управления*, «Мехатроника, автоматизация, управление», «Информационные технологии», «Информатика, вычислительная техника и инженерное образование», «Программная инженерия», «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах» и др. изданиях.

Распределение публикаций по предметным областям (в процентном отношении) представлено на рисунке 4. Из рисунка 4 видно, что явное лидерство за онтологиями и математикой.

Распределение количества авторов статей по возрасту и городам приведено на рисунках 5 и 6 соответственно. Из рисунка 5 видно, что большинство авторов находятся в самом продуктивном возрасте (36-60 лет). Из рисунка 6 видно, что в тройку городов лидеров вошли Самара, Москва и Санкт-Петербург.

Детальное и укрупнённое распределения по учёным степеням авторов публикаций показаны на рисунках 7 и 8. Видно, что основной состав авторов - это доктора и кандидаты наук, причём явное первенство за техническими науками.

Из рисунка 9 видно, что наибольшее количество публикаций в журнале посвящено прикладным онтологиям проектирования, далее идут статьи по инжинирингу онтологий, методам и технологиям принятия решений. Наименьшее количество публикаций в разделе, посвящённом общим вопросам проектирования, его гуманитарным аспектам.

Из рисунка 10 видно, что лидерство по количеству публикаций в журнале за авторами из России, Украины и Белорусии.

Автор считает, что в обзоре опубликованных в журнале научных статей также стоит отметить работы по оптимальному проектированию в условиях неопределённости проф. В.И. Левина (Пенза), циклы работ, выполненных под руководством проф. А.С. Клещёва (Владивосток), проф. Л.В. Массель (Иркутск), проф. В.В. Голенкова, с.н.с. П.А. Ломова (Апатиты) и др. наших уважаемых авторов.

При этом стоит отметить, что в журнале ещё не обозначили себя учёные и проектировщики в таких важных для многих и актуальных ПроО как финансовые и банковские услуги (попытка от сотрудников в ИТ-сфере Сбербанка была, но не доведена до публикации), биомедицинские и материаловедческие технологии (уж здесь-то есть серьёзные мировые результаты в России в т.ч., но пока в журнале они ещё не проявились), законотворчество и нормотворчество (юристы из Самарского университета обозначили свой интерес, но всё пока в стадии концепт проектов). А ведь, например, формирование правового поля без описания всех сущностей и атрибутирования их, без выявления и фиксации всех связей и отношений между ними, без онтологии - просто не возможно. Создание такой онтологии позволит сделать не только прозрачным само законодательство, которое будет способствовать выявлению противоречий и дублирования в нём, исключению разных и многочисленных его трактовок,

но и во многом облегчит его применение всем участникам процесса. Ведь правительственная программа цифровизации родилась не на пустом месте, сама жизнь ведёт нас всех в это цифровое общество.

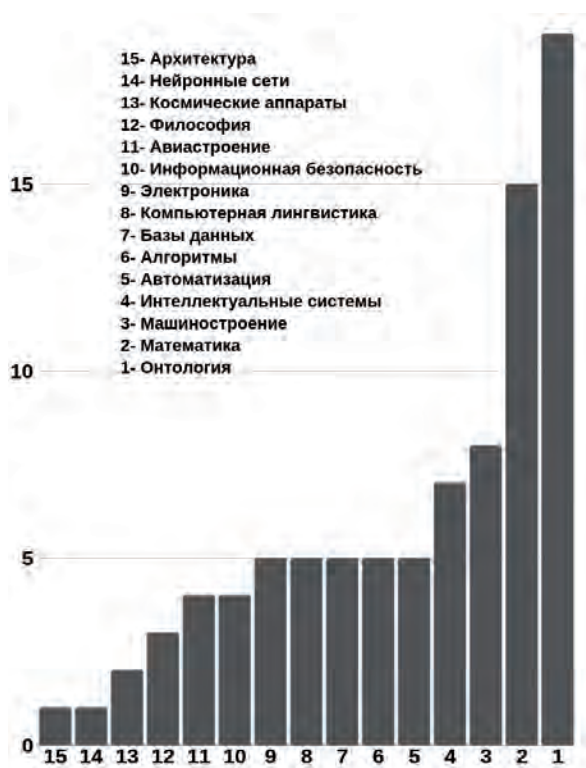


Рисунок 4 – Распределение публикаций по предметным областям (в процентном отношении)

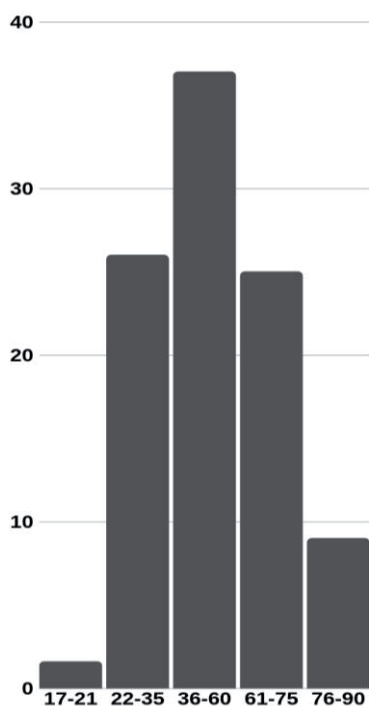


Рисунок 5 – Распределение авторов по возрасту (в процентном отношении)

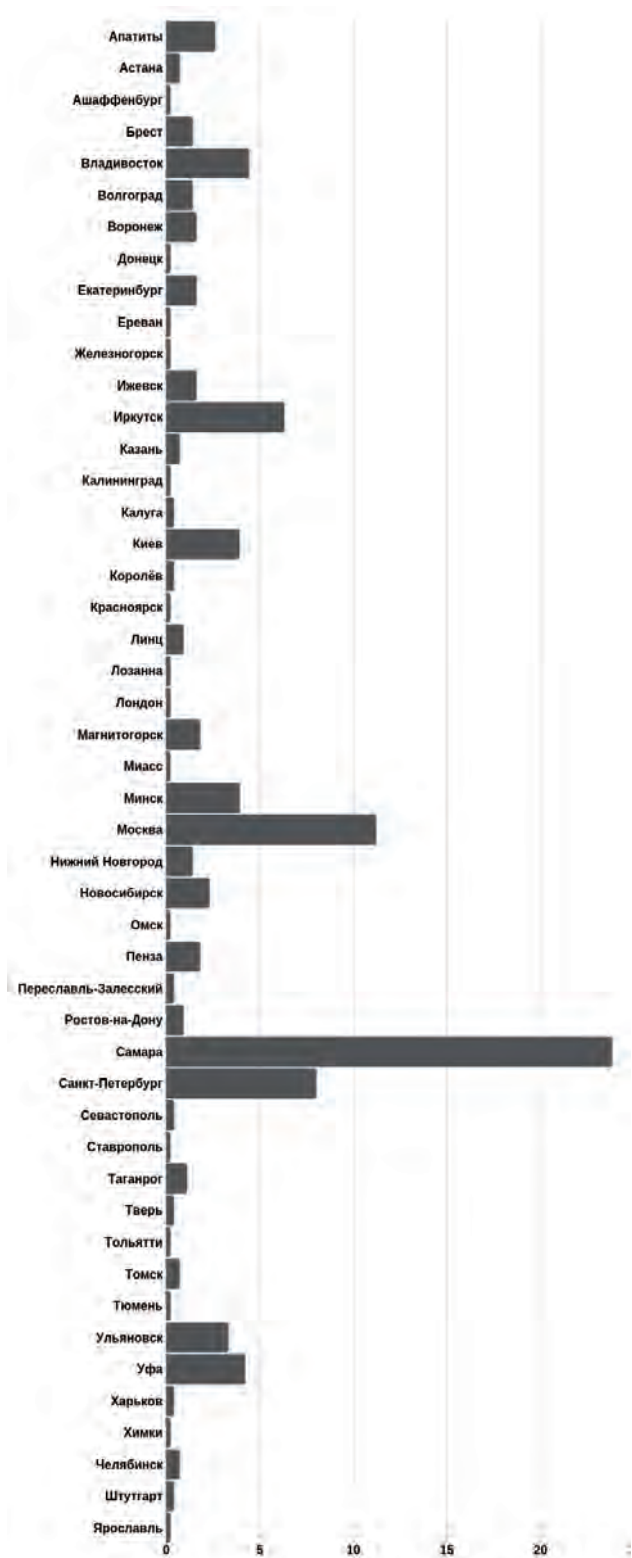


Рисунок 6 – Распределение публикаций по городам авторов

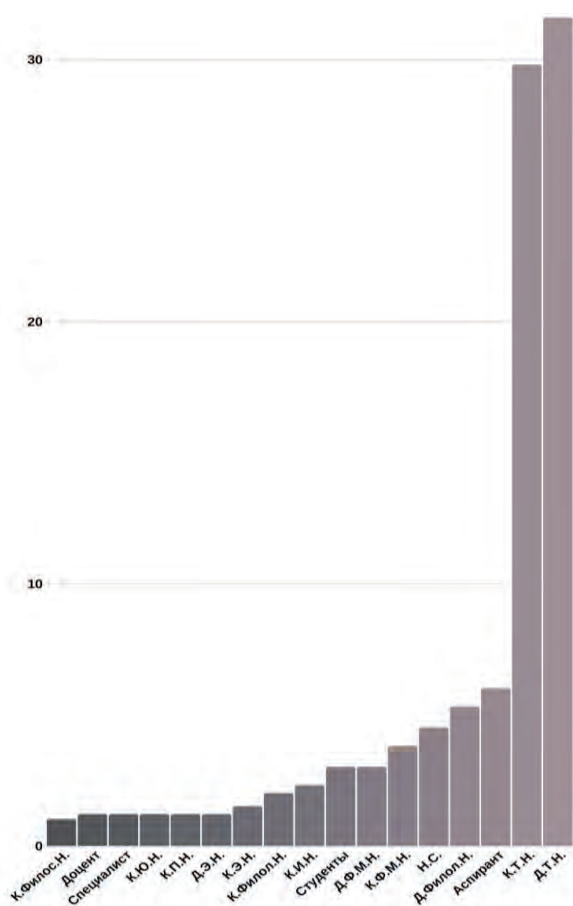
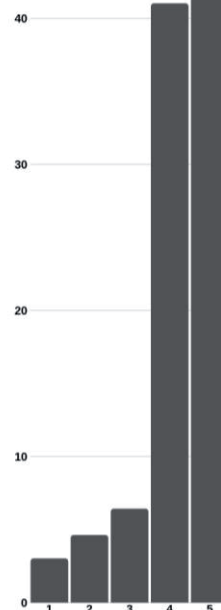
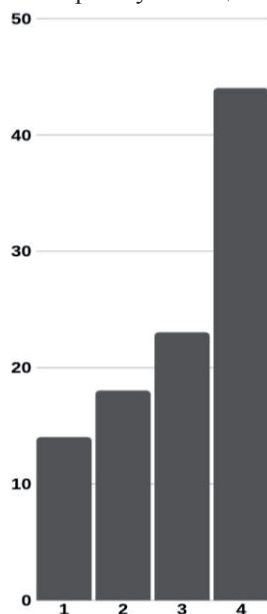


Рисунок 7 – Детальное распределение по учёным степеням авторов публикаций



- 1-Студенты
- 2-Исследователи
- 3-Аспиранты
- 4-Доктора наук
- 5-Кандидаты наук

Рисунок 8 – Укрупнённое распределение по учёным степеням авторов публикаций



- 1- Гуманитарные аспекты проектной деятельности
- 2- Методы и технологии принятия решений
- 3- Инжиниринг онтологий
- 4- Прикладные онтологии

Рисунок 9 – Распределение публикаций по разделам

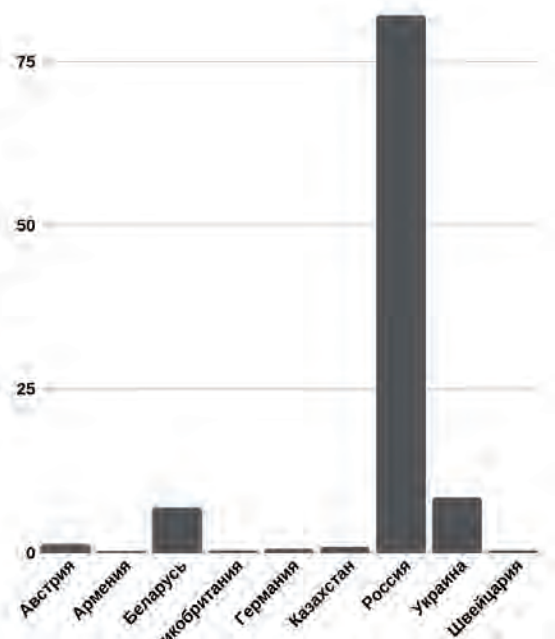


Рисунок 10 – Распределение публикаций по странам



## Дискуссия

13 декабря 2018 года Центр философских коммуникаций Института философии РАН совместно с сектором теории познания провёл первое заседание дискуссионного клуба в рамках проекта «Философские встречи». Тема для обсуждения была «Личное предназначение философа». Раскрыть тему предложили д.филос.н., проф., академику РАН В.А. Лекторскому, вёл заседание д.филос.н., проф. Ю.М. Резник. По мнению академика, сообщившего, что его долгая творческая «жизнь – это лишь цепь случайностей», основная идея, которая определяет, в том числе смысл жизни, – это *конструктивный реализм*. Философ присоединился к опасениям многих учёных и высказал «озабоченность» текущим градиентом развития цивилизации, неконтролируемым вторжением науки и технологии в самого человека, в среду его обитания. «Человек трансформирует реальность, и сам становится не нужным в этой новой реальности» – таков неутешительный прогноз учёного, который должен быть услышан проектантами<sup>17</sup>. Именно им предстоит найти способы и возможности учёта этих изменений в моделях проектирования артефактов, сохраняя собственную среду для жизни.



По понятным причинам автор не включил в обзор хорошо известные работы по методологии проектирования, послужившие во многом основой для становления современной онтологии проектирования. Это работы зарубежных и отечественных авторов Хилла [62], Джонса [63], Уайлда [64], А.И. Половинкина [65] и многих других, на чьём опыте и знаниях формировалось проектное мировоззрение и миропонимание и самого автора, в том числе.

Автор рассчитывает на критический анализ приведённых в статье утверждений и приглашает читателей к конструктивной дискуссии. Например, насколько реальны возможные успехи применения технологий искусственных нейронных сетей в проектной деятельности.

Вот пример одного из проектов<sup>18</sup>: визуализация дизайна интерьера квартир в виде 3D модели с помощью обученной нейронной сети, которая генерирует новые виды дизайна интерьера, на основе готовых решений, выполненных профессиональными дизайнерами (подобраны цвета, материалы и др. элементы дизайна).

## Заключение

Всё относительно, относителен и долгий путь становления онтологии проектирования. Краткий миг всплеска информационных технологий на глазах трансформирует нашу жизнь, вытесняя человека из многих процессов, в том числе и созидательной деятельности. Топовые тренды на ближайшие годы указывают на засилье цифровых технологий, а бурный рост потребления при росте численности населения делает острым вопрос о скором дефиците всех необходимых ресурсов для существования человечества. При таких обстоятельствах возрастает интегративная роль научной дисциплины «онтология проектирования», которая способна формировать и транслировать знаниевые модели в различных Про, учитывая текущее состояние процессов в них и смежных Про. Онтологии как лучшие проверенные практики, как

<sup>17</sup> Ещё более мрачные сценарии на рубеже тысячелетий описал Билл Джой – американский учёный в области теории вычислительных систем в своей статье «Why the Future Doesn't Need Us» в электронном журнале WIRED, объяснив почему мы не нужны будущему. «... если элита состоит из мягкосердечных либералов, то они могут решить поиграть роль хороших пастухов по отношению к остальной части человеческой расы. ... людей придётся в биологическом, либо в психологическом отношении проектировать, чтобы устранить их потребность во власти... Подобные спроектированные люди могут даже испытывать счастье в таком обществе... Фактически, их статус будет уменьшен до домашнего животного...» [61]. Кому то может показаться, что некоторые действия правительств «либеральных» стран идут в русле этих мрачных прогнозов.

<sup>18</sup> Университет искусственного интеллекта (обучение разработчиков нейронных сетей) – <https://neural-university.ru/>.

знания, адекватные потребностям и ресурсам, позволят указать путь если не в «светлое будущее», то, по крайней мере, к его устойчивому развитию.

## Благодарности

Работа выполнена при проведении исследований по теме № 0056-2014-0009 «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций» в рамках государственного задания Института проблем управления сложными системами РАН.

## Список источников

- [1] **Боргест, Н.М.** Границы онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). – С. 7-33. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – № 1(7). – 2013. — с. 7-25.
- [3] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – № 3(9). – 2013. — с. 9-31.
- [4] **Витрувий.** Десять книг об архитектуре / Пер. Ф. А. Петровского. Т.1. М., Изд-во Всес. Академии архитектуры. (Серия «Классики теории архитектуры»). 1936. - 331 с. - <http://antique.totalarch.com/vitruvius>.
- [5] **Vittikh, V.A.** Prolegomena to evergetics / V.A. Vittikh // *Ontology of designing*. 2015; 5(3): 135-148. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
- [6] **Мирский, Э.М.** Дисциплина научная / Национальная философская энциклопедия. 2017 - <http://terme.ru/termin/disciplina-nauchnaja.html#item-29314>.
- [7] **Крейк, А.И.** Теоретические основы определения предмета и объекта дисциплины // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2-25. – С. 5686-5688. - <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38488> (дата обращения: 10.03.2017).
- [8] **Розов, М.А.** Проблема предмета философии (методологические аспекты). 1998 - [http://www.bimbad.ru/biblioteka/article\\_full.php?aid=436](http://www.bimbad.ru/biblioteka/article_full.php?aid=436).
- [9] **Ярская-Смирнова, Е.Р.** Бросить вызов сложившимся определениям, границам научных дисциплин / Центр социального прогнозирования и маркетинга. - 2014. - 26 с. - [http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/yarskay\(3\).pdf](http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/yarskay(3).pdf).
- [10] *Философия техники: история и современность. Монография. Институт философии РАН. Отв. ред. В.М. Розин. — М., 1997. Электронная публикация: Центр гуманитарных технологий. — 10.07.2010. - <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/3369/3371>.*
- [11] **Карп, Е.** Grundlinien einer Philosophie der Technik; Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten / E. Kapp. - Braunschweig. Druck und Verlag von George Westermann. 1877. - <https://archive.org/details/grundlinieneine00kappgoog/page/n13>.
- [12] **Энгельмейер, П.К.** Философия техники / П.К. Энгельмейер. - М.: Т-во скоропечатни А.А. Левинсон, 1912. Вып. 2.
- [13] **Panetta, K.** Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. October 15, 2018. - <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>.
- [14] **Willis, Anne-Marie.** Ontological Designing — laying the ground. *Ontological Designing. Design Philosophy Papers Collection Three. Design Philosophy Papers.* Jan 1, 2006 - Pp.80-98. - [https://www.academia.edu/888457/Ontological\\_designing?email\\_work\\_card=thumbnail-desktop](https://www.academia.edu/888457/Ontological_designing?email_work_card=thumbnail-desktop).
- [15] **Fry, T.** *Design futuring: sustainability, ethics, and new practice.* Oxford, UK: Berg. 2009. – 256 p.
- [16] **Kannengiesser U.** An ontology of computer-aided design / U. Kannengiesser, J.S. Gero // in CM De Smet and JA Peeters (eds), *Computer-Aided Design and other Computing Research Developments*, (2009) Nova Science Publishers, pp.1-25. - <http://mason.gmu.edu/~jgero/publications/2009/09KannengiesserGeroCADBookChap.pdf>.
- [17] **Negoescu, G.** The Role of Ontologies for Designing Accounting Information Systems / G. Negoescu, I. Lupasc, A. Lupasc // *Annals of Dunarea de Jos University. Fascicle I: Economics and Applied Informatics.* 2010; (1): 101-108 - <https://core.ac.uk/download/pdf/27230463.pdf>.
- [18] **Шведин, Б.Я.** Онтология предприятия: экспириентологический подход: Технология построения онтологической модели предприятия. - М.: Ленанд. 2010. - 240 с. - <http://www.dunrose.ru/wp-content/uploads/2018/08/QuaSy-онтология-Книга-01.pdf>.

- [19] **Шведин, Б.Я.** Онтология проектирования – Terra incognita? / Б.Я. Шведин // Онтология проектирования. – 2011. – №1(2). – С. 9-21.
- [20] **Горский, Д.П.** Вопросы абстракций и образование понятий / Д.П. Горский. – М.: Изд-во АН СССР. 1961. – 352 с.
- [21] **Fgege G.** Grundgesetze der Arithmetik. Georg Olms, Hildesheim, 1962.
- [22] **Смирнов С.В.** Онтологии как смысловые модели / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. № 2 (9), 2013. – с.12-19.
- [23] **Боргест, Н.М.** Критериальный анализ предметной области — ключевая проблема в онтологии проектирования / Н.М. Боргест // В сборнике: Информационные технологии и системы. Труды Шестой Международной научной конференции. ИТиС-2017. ЧелГУ. Челябинск. 2017. – С.28-30.
- [24] **Аката У.** Designing future designers: a propositional framework for teaching sustainability / У. Akama, Т. Ivanka, М. Duque, J. Sanin, V. Jacob // RMIT University. 2014. – <http://desis-lab.org/wp-content/uploads/2015/03/Designing-Future-Designers-2014.pdf>.
- [25] **Боргест, Н.М.** Историческая ответственность инженера: учеб.пособие. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 120 с.
- [26] **Бекарев, А.М.** Этический контекст проектирования эпистемических объектов / А.М. Бекарев, Г.С. Пак // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.208-218. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-208-218.
- [27] **Piccolo, S.** Design process robustness: a bipartite network analysis reveals the central importance of people / S. Piccolo, S. Lehmann, A. Maier // Design Science, 2018; 4, E1. – DOI:10.1017/dsj.2017.32.
- [28] **Виттих, В.А.** Понятие интересубъективности в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). – С.90-97.
- [29] **Скобелев, П.О.** Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С.26-48.
- [30] **Rzevski, G.** Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*, 2014; 4(14): 8-17.
- [31] **Белов, М.В.** Структура методологии комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С.366-387. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [32] **Пиявский, С.А.** Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2016. – Т.6, №4(22). – С.414-435. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [33] **Пиявский, С.А.** Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С.449-468. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [34] **Микони, С.В.** Формирование обобщённых показателей транспортной системы с позиций заинтересованных сторон / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). – С.296-304. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.
- [35] **Воронов, Е.М.** К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла / Е.М. Воронов, В.В. Щербинин, С.С. Семенов // Онтология проектирования. 2016. – Т. 6, №2(20). – С.173-192. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [36] **Tutov, L.** Ontological Problems of Economics / L. Tutov, V. Rogozhnikova // Proc. of the Joint Ontology Workshops 2018. Episode IV: First International Workshop on Ontology of Economics. The South African Spring collocated with the 10th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2018). Cape Town, South Africa, September 17-18, 2018. – [http://ceur-ws.org/Vol-2205/paper3\\_oe1.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2205/paper3_oe1.pdf).
- [37] **Виттих, В.А.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В.А. Виттих, П.О. Скобелев // Автоматика и телемеханика. № 1, 2003. – с.177–185.
- [38] **Маркс, К.** Капитал. Критика политической экономии. Том 1. / Пер. с нем. Изд-во Манн, Иванов и Фербер. 2013. – 1200 с. – <http://www.esperanto.mv.ru/Marksismo/Kapital1/>.
- [39] **Спенсер, Г.** Синтетическая философия / Пер. с англ. Мокиевского П.В. – Киев: Ника-центр, 1997. – 512 с.
- [40] **Акофф, Р.** Планирование будущего корпорации. Пер. с англ. – М.: Прогресс. 1985.
- [41] **Гартман, Э.** Сущность мирового процесса, или Философия бессознательного: Метафизика бессознательного. Пер. с нем. – М.: КРАСАД, 2014. – 440 с.
- [42] **Кошкин, В.И.** Солидарная экономика: путь в будущее / В.И. Кошкин, С.И. Кретов. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 304 с.
- [43] **Maslow, A.** Motivation and Personality. — New York: Harpaer & Row, 1954. Абрахам Маслоу. Мотивация и личность. Пер. А.М. Татлыбаевой. – <http://nkozlov.ru/library/psychology/d3478/>.
- [44] **Ницше, Ф.** Воля к власти. Опыт переоценки всех ценностей / Ф. Ницше. Пер. с нем. – М.: Изд-во «RELF-book», 1994. – 152 с.

- [45] **Рапопорт, Г.Н.** Искусственный и биологический интеллект: общность структуры, эволюция и процессы познания / Г.Н. Рапопорт, А.Г. Герц. - М.: КомКнига, 2010. – 312 с.
- [46] **Энгельс, Ф.** Диалектика природы / К. Маркс, Ф. Энгельс, Соч., 2 изд., т. 20, с. 587. - [http://libelli.ru/marxism/me\\_ss2.htm](http://libelli.ru/marxism/me_ss2.htm).
- [47] **Смит А.** Теория нравственных чувств.- М.: Республика. 1997.
- [48] **Gero, JS** (ed) Artificial Intelligence in Design, CMP/Springer-Verlag, Berlin, (1989) 556 p.
- [49] **Gero, JS** (ed.) Artificial Intelligence in Design'02, Kluwer, Dordrecht, (2002) 642 p.
- [50] **Gero, JS** (ed) Design Computing and Cognition'16, Springer, (2017) 704 p.
- [51] **Hurst, A.** A comparison of the design activity of academics and practitioners using the FBS ontology: A case study / A. Hurst, O. Nespoli, S. Abdellahi, JS Gero. - 2018 - 10 p. - <http://mason.gmu.edu/~jgero//publications/Progress/18HurstNespoliAbdellahiGero-ICED.pdf>.
- [52] **Vogel, S.** Complex System Design with Design Languages: Method, Applications and Design Principles / S. Vogel, S. Rudolph // *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 323-346. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-323-346.
- [53] **Комаров, В.А.** Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы / В.А. Комаров // *Онтология проектирования*. – 2017. – Т. 7, №2(24). - С. 191-206. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- [54] **Боргест, Н.М.** Робот-проектант: на пути к реальности / Н.М. Боргест, С.А. Власов, Ал.А. Громов, Ан.А. Громов, М.Д. Коровин, Д.В. Шустова // *Онтология проектирования*. – 2015. – Т.5, №4(18). - С.429-449. – DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [55] **Гришин М.В.** Онтологии проектирования шаблонной оснастки в авиационном производстве / М.В. Гришин, С.Н. Ларин, П.И. Соснин // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т.6, №1(19). – с.7-28. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-7-28.
- [56] **Космодемьянский, Е.В.** Проект космического ракетного комплекса на базе ракеты-носителя сверхлёгкого класса / Е.В. Космодемьянский, А.В. Нагиев, Д.Ю. Изратов, В.А. Кирпичев, П.А. Давыдов, А.А. Маркарова, И.В. Козлова, А.Ю. Окутин, А.Ю. Пустовалов // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, №4(30). - С. 523-539. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-523-539.
- [57] **Нестеров, А.Ю.** Эпистемологические и онтологические проблемы философии техники: «четвёртое царство» Ф. Дессауэра / А.Ю. Нестеров // *Онтология проектирования*, 2016. – Т.6, №3(21). – С.377-389. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-377-389.
- [58] **Агафонов, А.Ю.** Наука о сознании: нерешённые проблемы / А.Ю. Агафонов // *Онтология проектирования*, 2(12)/2014 с.8-18.
- [59] **Резник, Ю.М.** К феноменологии возможных миров человека: экзистенциальная онтология проектирования / Ю.М. Резник // *Онтология проектирования*. – 2015. – Т. 5, №4(18). – С.450-462. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-450-462.
- [60] **Четвериков, Г.Г.** Концептуально-психологические аспекты построения многозначных систем искусственного интеллекта. Мозгоподобные преобразователи информации / Г.Г. Четвериков, Е.С. Кнышева, И.Д. Вечирская // *Онтология проектирования*, 2(8)/2013. - С.56-63.
- [61] **Bill Joy.** Why The Future Doesn't Need Us. Ideas. Wired. 04.01.00. - <https://www.wired.com/2000/04/joy-2/>.
- [62] **Хилл, П.** Наука и искусство проектирования. – М.: Мир, 1973. – 264 с.
- [63] **Джонс, Дж.** Методы проектирования. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
- [64] **Уайлд, Д.** Оптимальное проектирование. – М.: Мир, 1981. – 272 с.
- [65] **Половинкин, А.И.** Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

## THE ONTOLOGIES OF DESIGNING FROM VITRUVIA TO VITTIKH

**N.M. Borgest**

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

*Institute of Control of Complex Systems RAS, Samara, Russia*

*borgest@yandex.ru*

### Abstract

The article discusses the development of an emerging scientific discipline, homonymous to the title of the journal “Ontology of Designing”. In previous works of the author published in the journal, key terms, scientific basis and borders of



the ontology of design were considered. Here, an attempt is made in the historical aspect to examine the origins of the ontology of design from Vitruvius, Plato, Aristotle, Socrates and other sages of antiquity to contemporaries who made a significant contribution to the development of this scientific direction - Vittich, Valkman, Samoylovich and many other eminent scientists. The key role of the ontological analysis of the subject area, search and substantiation of formalisms and formal methods in describing both the subject area itself and the processes modeled in it is emphasized. The paper presents, on the example of articles published in the journal over eight years, the geography of the topics touched upon, the authors, and the organizations representing them. The author took the liberty to mark the works, significant in his opinion, published in the journal, to identify areas in which the results have not yet been obtained and which could fill in the gaps in the mosaic of published works in the journal. In the subject area of social design, the author examines ontological dominants, argues with other authors about blissful theories from Plato and Adam Smith to Wittih and Fresco. Understanding the eclecticism of the presented analysis and conclusions, the author invites the readers of the journal to a constructive discussion, formulating for this purpose questions on unsolved problems.

**Key words:** *ontology, design, ontological dominants, benevolent theories, concepts, criteria, standards.*

**Citation:** *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.

### Acknowledgment

The work was carried out as a part of a research on No. 0056-2014-0009 "Intersubjective management of innovative development of socio-technical objects with the use of ontological models of situations" as a part of a government assignment for the ICCS RAS.

### References

- [1] **Borgest NM.** Boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing.* 2017; 7(1): 7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] **Borgest NM.** Scientific basis for the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing.* 2013; 1(7): 7-25.
- [3] **Borgest NM.** Key tems of the ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing.* 2013; 3(9): 9-31.
- [4] **Vitruvius.** Ten books on architecture [In Russian]. Trans. by F.A. Petrovsky. Moscow, Publishing House of All. Academy of Architecture. (Series "Classics of Theory of Architecture"). 1936 - 331 p.
- [5] **Vittikh VA.** Prolegomena to evergetics / *Ontology of designing.* 2015; 5(3): 135-148. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
- [6] **Mirskiy EM.** Scientific discipline [In Russian]. / National Philosophical Encyclopedia. 2017 - <http://terme.ru/termin/disciplina-nauchnaja.html#item-29314>.
- [7] **Kreik AI.** Theoretical bases of definition of a subject and object of discipline [In Russian]. / *Fundamental research.* – 2015. – No. 2-25. – pp. 5686-5688. - <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38488> (review date: 10.03.2017).
- [8] **Rozov MA.** The problem of the subject of philosophy (methodological aspects) [In Russian]. 1998 - [http://www.bim-bad.ru/biblioteka/article\\_full.php?aid=436](http://www.bim-bad.ru/biblioteka/article_full.php?aid=436).
- [9] **Yarskaya-Smirnova ER.** To challenge the existing definitions, the boundaries of scientific disciplines [In Russian]. / Center for Social Forecasting and Marketing. - 2014. - 26 p. - [http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/yarskay\(3\).pdf](http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/yarskay(3).pdf).
- [10] *The philosophy of technology: history and modernity.* Monograph [In Russian]. Institute of Philosophy RAS. Ed. ed. V.M. Rosin. - M., 1997. Electronic publication: Center for Humanitarian Technologies. 10.07.2010. - <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/3369/3371>.
- [11] **Kapp E.** Grundlinien einer Philosophie der Technik; Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten. - Braunschweig. Druck und Verlag von George Westermann. 1877. - <https://archive.org/details/grundlinieneine00kappgoog/page/n13>.
- [12] **Engelmeyer PK.** Philosophy of technology / PK Engelmeyer. - M.: T-in A. A. Levinson, 1912. Vol. 2
- [13] **Kasey Panetta.** Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. October 15, 2018. - <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>.
- [14] **Willis Anne-Marie.** Ontological Designing — laying the ground. *Ontological Designing.* Design Philosophy Papers Collection Three. Design Philosophy Papers. Jan 1, 2006 - Pp.80-98. - [https://www.academia.edu/888457/Ontological\\_designing?email\\_work\\_card=thumbnail-desktop](https://www.academia.edu/888457/Ontological_designing?email_work_card=thumbnail-desktop).



- [15] *Fry T.* Design futuring: sustainability, ethics, and new practice. Oxford, UK: Berg. 2009. – 256 p.
- [16] *Kannengiesser U, Gero JS.* An ontology of computer-aided design, in CM De Smet and JA Peeters (eds), Computer-Aided Design and other Computing Research Developments, (2009) Nova Science Publishers, pp.1-25. - <http://mason.gmu.edu/~jgero/publications/2009/09KannengiesserGeroCADBookChap.pdf>.
- [17] *Negoescu G, Lupasc I, Lupasc A.* The Role of Ontologies for Designing Accounting Information Systems / Annals of Dunarea de Jos University. Fascicle I: Economics and Applied Informatics. 2010; (1): 101-108. - JEL CODE: D83, L86 - <https://core.ac.uk/download/pdf/27230463.pdf>.
- [18] *Shvedin BY.* Enterprise ontology: The technology of building an ontological enterprise model [In Russian]. - М.: Lenand. 2010. - 240 p. - <http://www.dunrose.ru/wp-content/uploads/2018/08/QuaSy-онтология-Книга-01.pdf>.
- [19] *Shvedin BY.* Ontology of designing - terra incognita? [In Russian]. *Ontology of designing*. 2011; 1(2): 9-21.
- [20] *Gorsky DP.* Problems of abstraction and the formation of concepts [In Russian]. - Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1961. - 352 p.
- [21] *Fzege G.* Grundgesetze der Arithmetik. Georg Olms, Hildesheim, 1962.
- [22] *Smirnov SV.* Ontologies as semantic models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2(9): 12-19.
- [23] *Borgest NM.* The criterion analysis of the domain is a key problem in the design ontology. Proc. of the Sixth International Scientific Conference. Information technologies and systems. CSU. Chelyabinsk. 2017. - p.28-30.
- [24] *Akama Y, Ivanka T, Duque M, Sanin J, Jacob V.* Designing future designers: a propositional framework for teaching sustainability. RMIT University. 2014. - <http://desis-lab.org/wp-content/uploads/2015/03/Designing-Future-Designers-2014.pdf>.
- [25] *Borgest NM.* Historical responsibility of the engineer: study guide [In Russian]. - Samara: Samara University Publishing House, 2018. - 120 p.
- [26] *Bekarev AM, Pak GS.* Ethical context of designing epistemic objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 208-218. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-208-218.
- [27] *Piccolo S, Lehmann S, Maier A.* Design process robustness: a bipartite network analysis reveals the central importance of people. *Design Science*, 2018; 4, E1. DOI:10.1017/dsj.2017.32.
- [28] *Vitikh VA.* Concept of intersubjectivity in evergetics [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2014; 4(14): 90-97.
- [29] *Skobelev PO.* Situation-driven decision making and multi-agent technology: finding solutions in dialogue [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2013; 2(8): 26-48.
- [30] *Rzevski G.* Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*, 2014; 4(14): 8-17.
- [31] *Belov MV, Novikov DA.* Structure of methodology of complex activity [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 366-387. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [32] *Piyavsky SA.* How do we digitize the concept of “more important” [In Russian]/ *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 414-435. DOI: 10.18278/2223-2016-6-4-414-435.
- [33] *Piyavsky SA.* Method of universal coefficients for the multi-criterial decision making [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 449-468. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468.
- [34] *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.
- [35] *Voronov EM, Shcherbinin VV, Semenov SS.* To the assessment of technical level complex technical systems taking into account the whole life cycle [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(2): 173-192. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-6-2-173-192.
- [36] *Tutov L, Rogozhnikova V.* Ontological Problems of Economics. Proc. of the Joint Ontology Workshops 2018. Episode IV: First International Workshop on Ontology of Economics The South African Spring co-located with the 10th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2018). Cape Town, South Africa, September 17-18, 2018. - [http://ceur-ws.org/Vol-2205/paper3\\_oe1.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2205/paper3_oe1.pdf).
- [37] *Vitikh VA, Skobelev PO.* Multi-agent interaction models for building networks of needs and opportunities in open systems [In Russian]. *Automation and Remote Control*. 2003; 1: 177-185.
- [38] *Marx K.* Capital. Criticism of political economy. Volume 1. [In Russian]. Trans. from German. - Publishing house Mann, Ivanov and Ferber. 2013. - 1200 p. - <http://www.esperanto.mv.ru/Marksismo/Kapital1/>.
- [39] *Spencer G.* Synthetic Philosophy [In Russian]. Trans. from English. - Kiev: Nika Center, 1997. - 512 p.
- [40] *Ackoff R.* Planning for the Future of a Corporation [In Russian]. Trans. from English. - М.: Progress. 1985.
- [41] *Gartman E.* The Essence of the World Process, or the Philosophy of the Unconscious: Metaphysics of the Unconscious [In Russian]. Trans. from German. - М.: KRASAD, 2014. - 440 p.
- [42] *Koshkin VI, Kretov SI.* Solidarity economy: the path to the future [In Russian]. - М.: LENAND, 2018. - 304 p.
- [43] *Maslow, A.* Motivation and Personality. — New York: Harpaer & Row, 1954. Абрахам Маслоу. Мотивация и личность. Пер. А.М. Татлыбаевой. - <http://nkozlov.ru/library/psychology/d3478/>.
- [44] *Nietzsche F.* Will to power. Experience revaluation of all values [In Russian]. Trans. from German. - М.: Publishing house "RELF-book", 1994. - 152 p.

- [45] **Rapoport G.N., Hertz A.G.** Artificial and biological intelligence: common structure, evolution and cognitive processes [In Russian]. - M.: KomKniga, 2010. - 312 p.
- [46] **Engels F.** Dialectics of Nature [In Russian]. K. Marx, F. Engels, 2nd ed., V. 20, p. 587. - [http://libelli.ru/marxism/me\\_ss2.htm](http://libelli.ru/marxism/me_ss2.htm).
- [47] **Smith, Adam.** The Theory of Moral Semtiments. Edited by Sálvio M. Soares. MetaLibri, 2005, v1.0s.
- [48] **Gero, JS** (ed) Artificial Intelligence in Design, CMP/Springer-Verlag, Berlin, (1989) 556pp.
- [49] **Gero, JS** (ed.) Artificial Intelligence in Design'02, Kluwer, Dordrecht, (2002) 642pp.
- [50] **Gero, JS** (ed) Design Computing and Cognition'16, Springer, (2017) 704 pp.
- [51] **Hurst A, Nespoli O, Abdellahi S, Gero JS.** A comparison of the design activity of academics and practitioners using the FBS ontology: A case study. 2018. - 10 p. - <http://mason.gmu.edu/~jgero/publications/Progress/18HurstNespoliAbdellahiGero-ICED.pdf>.
- [52] **Vogel S., Rudolph S.** Complex System Design with Design Languages: Method, Applications and Design Principles. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 323-346. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-323-346.
- [53] **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.
- [54] **Borgest NM, Vlasov SA, Gromov ALA, Gromov AnA, Korovin MD, Shustova DV.** Robot-designer: on the road to reality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2015; 5(4): 429-449. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.
- [55] **Grishin MV, Larin SN, Sosnin PI.** Ontology of designing industrial equipment within the aviation production. *Ontology of designing*. 2016; 6(1): 7-28. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-7-28.
- [56] **Kosmodemyanskiy EV, Nagiev AV, Izratov DY, Kirpichev VA, Davydov PA, Markarova AA, Kozlova IV, Okutin AY, Pustovalov AY.** Space rocket complex project on the basis of a super-light class rocket-carrier [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 523-539. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-523-539.
- [57] **Nesterov AY.** Epistemological and ontological problems of the philosophy of technology: "the fourth kingdom" of F. Dessauer [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(21): 377-389. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-377-389.
- [58] **Agafonov AY.** Science of consciousness: unsolved problems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 2(12): 8-18.
- [59] **Resnick YM.** To a phenomenology of possible human worlds: existential ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2015; 5(4): 450-462. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-450-462.
- [60] **Chetverikov GG, Knysnova HS, Vechirskaya ID.** Conceptual and psychological aspects of building multiple-valued systems of artificial intellect. Brain-like converters of information [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2(8): 56-63.
- [61] **Bill Joy.** Why The Future Doesn't Need Us. Ideas. Wired. 04.01.00. - <https://www.wired.com/2000/04/joy-2/>.
- [62] **Hill P.** The Science of Engineering Design. NY: Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1970.
- [63] **Jones JC.** Design methods. NY: John Wiley & Sons, 1982.
- [64] **Wilde DJ.** Globally optimal design. NY: John Wiley & Sons, 1978.
- [65] **Polovinkin AI.** Fundamentals of engineering creativity [In Russian]. - M.: Mashinostroenie, 1988. - 368 p.
- 

## Сведения об авторе



**Боргест Николай Михайлович**, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва в 1978 г., к.т.н. (1985). Профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва, директор издательства «Новая техника», с.н.с. ИПУСС РАН. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям (IAOA), Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 200 работ в области автоматизации проектирования и искусственного интеллекта.

**Nikolay Mikhailovich Borgest** (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Director of «New Engineering» publishing house, 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 (RAII), of co-author of more 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.

УДК 629.7

## ПРОЕКТ КОСМИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ СВЕРХЛЁГКОГО КЛАССА

Е.В. Космодемьянский<sup>1</sup>, А.В. Нагиев<sup>2</sup>, Д.Ю. Изратов<sup>2</sup>, В.А. Кирпичев<sup>3</sup>, П.А. Давыдов<sup>4</sup>,  
А.А. Маркарова<sup>5</sup>, И.В. Козлова<sup>5</sup>, А.Ю. Окутин<sup>6</sup>, А.Ю. Пустовалов<sup>7</sup>.

<sup>1</sup>Опытно-конструкторское бюро «Факел», Калининград, Россия  
kosmodemyanskiy@fakel-russia.com

<sup>2</sup>Ракетно-космический центр «Прогресс», Самара, Россия  
AN260192@gmail.com, izratov.dy@samspace.ru

<sup>3</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия  
dean\_fla@mail.ru

<sup>4</sup>Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Королёв, Россия  
p.a.davidov@yandex.ru

<sup>5</sup>ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, Москва, Россия  
proton@khrunichev.ru

<sup>6</sup>НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова, Екатеринбург, Россия  
okutinau@yandex.ru

<sup>7</sup>ГРЦ им. академика В.П. Макеева, Миасс, Россия  
endry\_ru@rambler.ru

### Аннотация

В статье рассмотрена потребность ракетно-космической отрасли в ракетах-носителях (РН), предназначенных для запуска малых космических аппаратов, а именно в РН сверхлёгкого класса (РН СЛК). Описаны наиболее известные зарубежные проекты РН СЛК, их особенности и характеристики. Произведено сравнение их с предлагаемой РН СЛК «Аквилон» по основным технико-экономическим показателям. Рассмотрена возможность отработки и применения на предлагаемой РН СЛК «Аквилон» новых технологических и конструктивных решений. В частности: применение в конструкции полимерных композитных материалов (углепластиков в конструкции как сухих отсеков, так и с применением специального покрытия стенок топливных баков; углеуглепластиков в конструкции высокотеплонагруженных элементов: камерах сгорания, створках головного обтекателя, обтекателя первого ускорителя и передних кромок консолей крыла в возвращаемой конфигурации); использование аддитивных технологий при изготовлении двигательной установки, силовых элементов с использованием топологической оптимизации на этапе их проектирования; новых компонентов топлива; создание возвращаемого и повторно используемого первого ракетного блока. Новым для исследований в данном направлении является использование комплексного подхода к рассмотрению современных тенденций в области ракетостроения с учётом потребностей рынка пусковых услуг.

**Ключевые слова:** ракета-носитель «Аквилон», полимерные композитные материалы, углепластик, аддитивные технологии, сжиженный природный газ, ракетный блок многократного использования.

**Цитирование:** Космодемьянский, Е.В. Проект космического ракетного комплекса на базе ракеты-носителя сверхлёгкого класса / Е.В. Космодемьянский, А.В. Нагиев, Д.Ю. Изратов, В.А. Кирпичев, П.А. Давыдов, А.А. Маркарова, И.В. Козлова, А.Ю. Окутин, А.Ю. Пустовалов // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №4(30). – С.523-539. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-523-539.

### Введение

Развитие технологий в области приборостроения, конструктивных материалов и новые схемно-технические решения ведут к развитию тенденции уменьшения массово-габаритных

характеристик космических аппаратов (КА): от тяжёлых КА массой в несколько тонн к малым КА (МКА) – микро- и наноспутникам – массой в несколько килограммов [1].

Грузоподъёмность ракет лёгкого класса избыточна для выведения на орбиту единичных микро- и наноспутников, поэтому МКА запускают на ракетах совместно с более крупногабаритными (попутный запуск) или крупными партиями (кластерный запуск).

При попутном запуске часто возникает ситуация, когда задержка с созданием основной полезной нагрузки приводит к тому, что сроки запуска попутных грузов сдвигаются. Соблюдение графика выведения особенно критично при развёртывании орбитальных группировок, состоящих из нескольких аппаратов. Например, срыв графика по запуску технологических МКА приводит к прямым финансовым потерям, так как задержка в проверке технологий тормозит создание коммерческих аппаратов на её базе. Вторым ограничением является то, что при попутном запуске орбита выбирается не заказчиком, а владельцем основного груза. Для некоторых МКА параметры орбиты являются особо важными. Третье ограничение попутных и кластерных запусков — невозможность применения высокоэнергетических устройств. Может быть введено ограничение на использование химических ракетных двигателей любого вида, пиросредств (из-за этого, например, ограничена возможность разворачивания больших по размеру конструкций, низкочастотных антенн) и баллонов высокого давления. Решение данных проблем возможно путём создания ракет-носителей (РН) сверхлёгкого класса (СЛК) для запусков нано- (1-10 кг) и микро-спутников (10-100 кг).

В статье решается задача онтологического анализа технических решений в области РН СЛК, выбора наиболее актуальных организационных и технологических направлений развития средств выведения, а также формирования концепции средства выведения с элементами многоразовости.

## **1 Современные ракеты-носители сверхлёгкого класса**

Основными направлениями целевого использования низкоорбитальных космических систем на основе таких КА являются: дистанционное зондирование Земли, мониторинг чрезвычайных ситуаций, сбор и передача информации в интересах отраслей народного хозяйства, министерства обороны и министерства по чрезвычайным ситуациям. В военной сфере особая роль в ближайшем будущем будет отводиться использованию многоцелевых КА, предназначенных для наблюдения за действиями противника, наземной связи и передачи данных в ходе боевых действий в локальных конфликтах. Для достижения этой цели РН СЛК должны иметь высокую оперативность запуска и возможность обеспечения быстрого выведения на заданные орбиты.

Другой важной задачей, которая может быть решена при создании РН СЛК, является лётная отработка инновационных технологий, в части внедрения прогрессивных технологий по маршевым двигателям, системам управления, конструкционным материалам, обеспечивающим высокие показатели безопасности и технико-экономической эффективности, которые будут использованы на РН более тяжёлых классов.

### **1.1 Зарубежные и российские проекты ракет-носителей сверхлёгкого класса**

Самый эффективный путь создания перспективных средств выведения нового поколения и существенного снижения риска при внедрении инновационных технологий – это создание РН минимальной размерности и лётная отработка на них инновационных технологий в части маршевых двигателей с высоким уровнем надёжности, безопасности (безаварийности), низкой стоимостью изготовления, обладающих высоким уровнем конструктивного совершен-



ства, а также применение новых композитных материалов и лёгких сплавов в конструкциях сухих отсеков и топливных баков.

Одним из первых современных проектов в этой области является экспериментальная РН СЛК SS-520-4, разработанная японской компанией IHI Aerospace Co. Ltd. 15 января 2017 г. был произведён старт этой РН, но вследствие потери сигнала телеметрии ракета была утеряна. РН была разработана на основе двухступенчатой высотной исследовательской ракеты SS-520 путём добавления третьей ступени и оригинальной системы управления. Характеристики РН представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Характеристики РН SS-520-4

Наименование характеристики	Значение
Полная длина, м	9,54
Диаметр корпуса, м	0,52
Стартовая масса, т	2,6
Тип топлива	Твёрдое
Число ступеней, ед.	Три
Масса полезного груза	Более 4 кг на низкую околоземную орбиту
Космодром пуска	Космический центр Утиноура
Способ запуска	Рельсовая наклонная направляющая подвешенного типа
Стоимость пуска, млн. долл.	3,5

Созданием РН СЛК занимается также новозеландская компания Rocket Lab. Лёгкая двухступенчатая РН Electron (рисунок 1) стартовой массой 12,55 т и длиной 17 м предназначена для запусков спутников массой 250 кг на низкую околоземную или 150 кг – на солнечно-синхронную орбиту (ССО) высотой 500 км. В качестве компонентов топлива на обеих ступенях используются жидкий кислород (окислитель) и керосин (горючее). Основные элементы РН, включая несущие баки, выполнены из углепластика для снижения массы конструкции. Все основные детали двигателя Rutherford, спроектированного и изготавливаемого Rocket Lab, создаются с помощью 3D-печати. Впервые в мире с целью удешевления стоимости РН он оснащен не турбонасосным, а двумя электронасосными агрегатами – по одному для каждого компонента топлива. Электронасосные агрегаты двигательной установки первой ступени питаются от 13 литий-ионных аккумуляторных батарей, смонтированных в нижней части конструкции ступени и обеспечивающих более 1 МВт электроэнергии. Стоимость пуска данной РН составляет 4,9–6,6 млн. долл.



Рисунок 1 – Лёгкая двухступенчатая РН Electron новозеландской компании Rocket Lab

Полезная нагрузка закрыта композитным головным обтекателем (ГО) длиной 2,5 м, диаметром 1,2 м и массой около 50 кг. Rocket Lab предлагает концепцию «инкапсуляции» спутника на территории заказчика, что позволяет собственникам полезной нагрузки осуществлять интеграцию аппарата с адаптером и ГО на своих предприятиях самостоятельно, а затем доставлять модуль в собранном виде к стартовой площадке, где он будет быстро установлен на ракете [3].

В нашей стране имеются проекты РН СЛК. Это твёрдотопливные РН семейства «Старт», созданные на базе межконтинентальной баллистической ракеты «Тополь». РН «Старт-1» способна вывести полезную нагрузку 490-1000 кг на орбиты высотой 200-1000 км, а РН



«Старт» - 65-210 кг. Однако последний пуск РН этого семейства был осуществлен в 2006 году. Стоит отметить, что значение максимальной продольной перегрузки во время полета этой РН достигает 12, что требует создания специализированных КА.

Текущие рыночные тенденции в области запусков МКА, а также развитие зарубежных высокотехнологичных проектов формируют необходимость в создании носителя, способного выводить МКА на требуемую для них орбиту.

Ёмкость мирового рынка динамично растёт в результате востребованности телекоммуникационных услуг, развития связи и навигации. На зарубежном рынке идёт устойчивый рост МКА класса «нано». В период 2011-2016 гг. их доля среди МКА массой от 10 до 500 кг возросла до 70%, а МКА класса «микро» (10-100 кг) и «мини» (100-500 кг) стабильно занимают устойчивый сегмент (12-16% МКА класса «мини» и 14-27 % МКА класса «микро»). Рост спроса на рынке космических технологий определит дальнейшее развитие как элементной базы, так и проектно-конструкторских решений.

## 1.2 Предлагаемая ракета-носитель сверхлёгкого класса «Аквилон»

В данной работе рассматривается создание РН СЛК для выведения на требуемые орбиты группировок МКА. Концепция РН предложена группой специалистов предприятий Госкорпорации «Роскосмос» в рамках проектной работы кадрового резерва. Детальный анализ имеющихся трендов развития ракетостроения и результатов наиболее высокотехнологичных проектов, учёт текущего состояния с РН лёгкого и сверхлёгкого класса в России позволяет сделать выводы о высокой актуальности данного направления, а также задать ряд характеристик предлагаемой РН. Наибольшее влияние на выбор тематики проекта и основных характеристик РН оказали следующие тренды:

- увеличение объёмов рынка коммерческих космических запусков;
- снижение стоимости запуска;
- увеличение степени автоматизации на всех этапах жизненного цикла;
- требование по сокращению времени подготовки к пуску;
- рост требований к экологичности средств выведения (СВ);
- рост количества частных предприятий в ракетно-космической промышленности;
- рост количества научно-исследовательских работ в области альтернативных СВ;
- увеличение количества запускаемых МКА;
- увеличение числа производственных процессов, реализуемых в космосе;
- рост экономической эффективности многоразовых средств выведения грузов;
- увеличение количества разработок в области добычи полезных ископаемых в космосе.

Ориентировочные характеристики РН в сравнении с известными зарубежными аналогами представлены в таблице 2, её облик – на рисунке 2.

Второй ракетный блок (РБ) представляет собой композитную цилиндрическую оболочку, с внутренней стороны баков снабжённую герметизирующим слоем. Межбаковые отсеки отсутствуют вследствие совмещения днищ баков окислителя («О») и горючего («Г») ввиду близости температур заправленных компонентов топлива, что позволяет сэкономить массу. РБ оснащён однокамерной жидкостной ракетной двигательной установкой (ЖРДУ) с возможностью управления вектором тяги (установка в карданном подвесе), а также оснащён системой управления движением. Полезная нагрузка защищена от тепловых и механических нагрузок набегающего потока двустворчатым головным обтекателем.

Первый РБ также представляет собой композитную цилиндрическую оболочку, с внутренней стороны баков снабжённую герметизирующим слоем. Отличием от конструкции второго РБ является наличие дополнительных баков «О» и «Г», предназначенных для питания

ЖРДУ, а именно рулевых ЖРД, в процессе реализации возврата РБ и посадки на посадочную полосу с целью повторного использования. Межбаковые отсеки также отсутствуют.

Таблица 2 – Сравнение характеристик предлагаемой РН и зарубежных аналогов

Характеристика	Значение			
	Electron [3, 4]	Launcher One [5]	Alpha [6]	Akvilon
Наименование РН	Electron [3, 4]	Launcher One [5]	Alpha [6]	Akvilon
Страна	США	США	США	Россия
Оператор	Rocket Lab	Virgin Galactic	Firefly Space Systems	–
Стартовый комплекс	Кодиак (США), п-ов Махия	«Спейспорт Америка» (США)	Космический центр Кеннеди (США)	Космодром «Восточный»/ мобильный комплекс
Стартовая масса, т	12,55	-	-	14,5 <sup>1</sup>
Грузоподъемность на НОО/ССО, кг	225/150	400/225	400/200	450/300
Количество ступеней, ед.	2	2	2	2
Длина, м	17	-	29	19,9
Диаметр, м	1,2	-	1,8	1,5
Тип топлива	керосин/кислород	-	СПГ/кислород	СПГ/кислород
Ожидаемая стоимость пуска	4,9 млн. \$	10 млн. \$	8 млн. \$	6,3 млн. \$

<sup>1</sup> В возвращаемой конфигурации 16 т.  
СПГ – сжиженный природный газ, НОО – низкая околоземная орбита.



Рисунок 2 – Предлагаемая РН СЛК «Аквилон» (без аэродинамических поверхностей)

РБ оснащён четырёхкамерной ЖРДУ с 4-мя рулевыми камерами с возможностью многократного запуска, а также специализированной системой управления движением, позволяющей обеспечивать возврат и посадку на специально выделенную взлетно-посадочную поло-

су. В конструкции РБ предусмотрена возможность крепления консолей крыла (возвращаемая конфигурация РБ) с исполнительными органами управления для реализации спасения по самолётной схеме и возможность установки убираемых стоек шасси с исполнительными органами управления в специально выделенные для их размещения отсеки в корпусе РБ.

На РН такого класса возможна отработка ряда новых технологических решений с наименьшими рисками и затратами, а именно:

- применение полимерных композитных материалов (ПКМ) в конструкции РН;
- применение новых компонентов топлива;
- разработка и экспериментальная отработка возвращаемой первой ступени;
- применение аддитивных технологий;
- автоматизированная подготовка к пуску и пуск РН с мобильной стартовой платформы.

В проекте РН предлагается ряд перспективных решений в области бортовой автоматизированной системы управления:

- максимальная автономность систем и минимизация дискретных и аналоговых связей между ними;
- минимизация критериев отмены предстартовой подготовки с выполнением требований по безопасности;
- принцип централизованного контроля и управления системами, приборами, агрегатами и элементами автоматики РН с использованием бортовой и наземной цифровых вычислительных машин.

### 1.3 Проекты ракет-носителей с возвращением блоков первой и второй ступеней

Среди анализируемых проектов многоразовых систем выделяются разработки с реализацией спасения блоков как первой, так и второй ступеней. Предполагается, что это позволит уменьшить стоимость выведения полезной нагрузки и решить вопросы с отчуждением зон падения элементов РН. На рисунке 3 приведены визуализации проекта XS-P компании Боинг и китайского проекта двухступенчатой многоразовой системы.

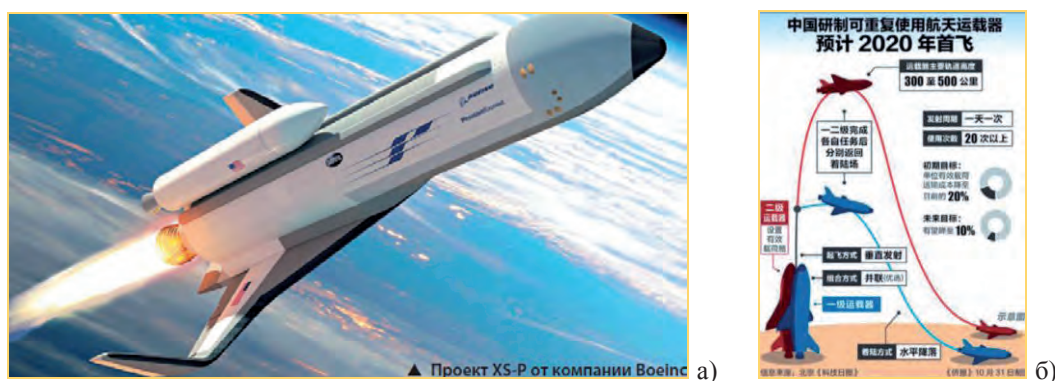


Рисунок 3 - Проект XS-P компании Боинг (а) и китайский проект (б) двухступенчатой многоразовой системы

В случае успешной реализации данных проектов можно ожидать существенных изменений в организационных, экономических и технических аспектах деятельности, связанных с разработками и запусками кластеров КА, в том числе аппаратов nano-класса. Несмотря на обилие подобных проработок в нашей стране в разное время с высоким техническим уровнем, на текущий момент в России развитие данного направления требует определённого внимания.

## 2 Технологические и технические особенности предлагаемой РН

### 2.1 Применение ПКМ в конструкции РН

Применение ПКМ при производстве космической и авиационной техники может сэкономить от 5 до 30% веса изделия, поэтому в конструкции предлагаемой РН предполагается широкое применение композиционных материалов (рисунок 4).



Среди множества ПКМ следует выделить углепластики. Наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна, получаемые из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. В зависимости от режима обработки и исходного сырья полученное углеволокно имеет различную структуру. Для изготовления углепластиков используются те же матрицы, что и для стеклопластиков, чаще всего – термореактивные и термопластичные полимеры.

Основными преимуществами углепластиков являются их низкая плотность и высокий модуль упругости. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения, хорошо проводят электричество [7]. Обладающий такими свойствами углепластик можно использовать при создании как сухих отсеков РН (рисунок 5) [8], так и топливных баков (рисунок 6) [9]. Углепластики обладают также необходимой стойкостью к криогенным температурам [10].

Материал лайнера конструкции бака под жидкий криогенный продукт (кислород) должен препятствовать диффузии компонентов продукта в стенку бака. Для этого лайнеры таких баков изготавливаются из высоколегированных сталей. В качестве перспективных материалов для изготовления лайнера криогенного бака, препятствующих диффузии компонентов жидких криогенных продуктов, можно рассматривать полимерные плёночные материалы, а именно полиимидные плёнки (внутреннего герметизирующего слоя), имеющие жёсткую связь с силовой оболочкой [10].



На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композитные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композитные материалы (углеуглепластики), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000° С. В связи с этим можно изготавливать из углеуглепластиков высокотемпературные узлы ракетной техники [7], а именно: створки головного обтекателя, обтекатель первого ускорителя и передние кромки консолей крыла (в возвращаемой конфигурации).



Рисунок 5 - Применение сухих отсеков из композитных материалов (разработка ЦНИИСМ) [8]



Рисунок 6 - Тестовый вариант бака из ПКМ, разработанный и изготовленный совместно NASA и Boeing, предназначенный для испытаний, имитирующих заправку и хранение жидкого водорода [9]

## 2.2 Применение новых компонентов топлива

Глобальные тенденции требуют увеличения экологической безопасности космических услуг. В связи с этим, предлагается использование в качестве топлива пары СПГ с содержанием метана 90–98 % и жидкий кислород (ЖК). СПГ не ядовит, при сгорании его в кислороде образуются водяной пар и двуокись углерода, содержание которой в продуктах сгорания много меньше, чем при сгорании керосина. В отличие от керосина, широко используемого в ракетной технике, проливы СПГ быстро испаряются, не нанося вреда окружающей среде [11]. К ряду преимуществ СПГ, по сравнению с традиционными ракетными топливами, можно добавить следующие [12]:



- энергетическая эффективность (ЖРД на СПГ обладают более высокими энергетическими показателями по сравнению с ЖРД на керосине);
- низкое сажеобразование ввиду меньшего содержания углерода в СПГ;
- лёгкость очистки топливных трубопроводов и полостей от остатков горючего после полёта упрощает подготовку ЖРД на СПГ к повторному использованию;
- хорошие охлаждающие свойства СПГ (возможность охлаждения стенок камеры сгорания и сопла – повышение их ресурса);
- близость температурных диапазонов СПГ и жидкого кислорода (возможно применение совмещенных днищ баков окислителя и горючего, отпадает необходимость в изоляции тоннельных трубопроводов).

КБХиммаш им. А.М. Исаева на данный момент занимается освоением топливной пары компонентов «СПГ+ЖК». Результатами данной работы стали опытные образцы двигателей С5.86.1000-0 (рисунок 7) и С5.86.1000-0А, подтверждающие возможность создания ЖРД на топливной паре «СПГ+ЖК», а также возможность многократного запуска ЖРД.

На первый РБ возможна установка такого двухкамерного маршевого ЖРД с четырьмя рулевыми ЖРД производства КБХиммаш им. А.М. Исаева, работающего на топливной паре «СПГ+ЖК» и развивающего суммарную тягу около 17,9 т (таблица 3).



Рисунок 7 – ДУ С5.86.1000 производства КБХиммаш им. А.М. Исаева

Таблица 3 – Потребные характеристики ЖРДУ первого РБ

Наименование характеристики	Значение
Двигательная установка	С5.86.1000 с 4-мя рулевыми камерами
Тяга на земле/в пустоте, т	17,9/20,38
Удельный импульс на земле/в пустоте, с	290/330
Время работы, сек.	160

### 2.3 Общий вид возвращаемой первой ступени

С появлением в мире успешно спасаемых и повторно используемых элементов ракетно-космической техники, в перспективе ведущих к удешевлению стоимости запуска (в частности, спасаемый и повторно используемый первый РБ РН Falcon-9 компании SpaceX), в нашей стране необходима отработка и внедрение эффективной технологии спасения, диагностики и повторного использования элементов этой техники. Многоходовые системы должны обладать экономическими и эксплуатационными преимуществами перед одноразовыми РН за счёт сокращения удельной стоимости выведения, обеспечиваемой повторным использованием материальной части, и снижением экологической нагрузки на трассы запуска вследствие уменьшения или полного отсутствия районов падения отделяющихся частей РН.

РН, включающие в себя многоходовые нижние и одноразовые верхние ступени, представляются оптимальным вариантом системы выведения полезных грузов, базирующейся на современных технологиях. Существенная часть стоимости ракеты приходится на первую ступень, спасение которой с технической точки зрения оказывается гораздо проще реализовать – именно поэтому её целесообразнее использовать для повторного применения [13].

Первая, реализованная на практике РН со спасаемой первой ступенью, – двухступенчатая РН Falcon-9 – одна из самых известных в настоящее время американских РН, успешно осуществившая вертикальную посадку по ракетно-динамической схеме (управляемый спуск с помощью работающей двигательной установки).

Из отечественных проектов можно отметить проект многоразового ускорителя «Байкал» (возвращение происходит на посадочную полосу по самолётной схеме с использованием поворотного крыла и турбореактивного двигателя), проект «МРКС-1» (возвращение также на посадочную полосу по самолётной схеме с использованием аэродинамических поверхностей и турбореактивного двигателя) (рисунок 8).

В проект РН СЛК «Аквилон» заложена концепция спасения и повторного использования первого РБ по самолётной схеме.

При формировании облика предлагаемой РН были рассмотрены варианты с поворотным прямым крылом и неподвижным крылом со стреловидностью. Первый вариант обеспечивает более высокое аэродинамическое качество при полёте на малых скоростях и меньшие скорость и нагрузки при посадке. Кроме того, прямое крыло, сложенное «вдоль потока» при выведении и экранируемое корпусом в зоне максимальных нагрузок, меньше подвергается аэродинамическому нагреву, тогда как фиксированное трапецевидное крыло придётся защищать на всем протяжении полета. Однако с точки зрения надёжности и имеющегося опыта отработки (например, в составе многоразового космического корабля «Буран») предпочтительнее оказывается второй вариант, выбранный для реализации на РН СЛК «Аквилон».

Спасаемый РБ (рисунок 9) имеет неподвижное стреловидное крыло, на законцовках которого размещены вертикальные аэродинамические поверхности с органами управления. Для посадки на посадочную полосу предполагается использование трёхопорного шасси, стойки которого убираются в специальные утопленные в основной корпус РН отсеки. При маневре на посадке используются штатные рулевые камеры ЖРД, работающих на СПГ и кислороде, маршевые ЖРД при этом не работают. Рассмотрен вариант с возможностью дросселирования до уровня 4-5% от номинальной тяги (дросселирование двигателя можно производить изменением площади критического сечения сопла при помощи профилированных «игл», вводимых по специальным направляющим [14]).

Одним из важных вопросов обеспечения сборки РН с обеспечением повторного запуска уже летавшей первой ступени является её тщательное, но в тоже время оперативное диагностическое обследование. Для этого предлагается использовать мобильный стенд, опрашива-



Рисунок 8 – Общий вид РН «Ангара» А3-В с многоразовыми ускорителями «Байкал» (а) и МРКС-1 в конфигурации с двумя возвращаемыми ракетными блоками (б) [13]

ющий телеметрическую систему и датчики состояния РН, сканирующий механические элементы корпусной части в различных диапазонах электромагнитного спектра, формирующий полный объём информации для принятия решения о возможности подготовки повторного старта (рисунок 9б). При достаточном развитии технологии диагностирования и опроса систем РН принятие решения возможно без участия человека.

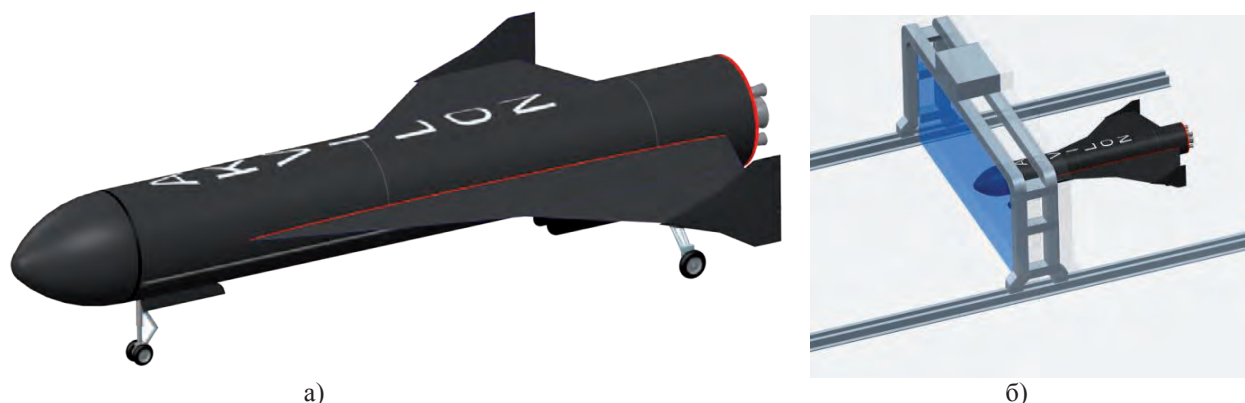


Рисунок 9 – Общий вид возвращаемой первой ступени с жёстким крылом (а) и диагностирование первой ступени с помощью мобильного бесконтактного стенда (б)

## 2.4 Применение аддитивных технологий

Аддитивные технологии уже доказали свою состоятельность и постепенно внедряются на предприятиях отечественной ракетно-космической отрасли.

К преимуществам аддитивных технологий можно отнести [15]:

- снижение трудоёмкости изготовления деталей;
- возможность достижения высокого коэффициента использования материала;
- оборудование для аддитивных технологий позволяет производить объекты, которые невозможно получить другим способом (объекты со сложной геометрией);
- в основе аддитивных технологий лежит цифровая модель будущего изделия, что позволяет передавать её на большие расстояния и в короткие сроки разворачивать производство изделия.

С появлением такого подхода при проектировании конструкций как топологическая оптимизация [15], применение 3D-печати становится всё более актуальным: детали, подвергнутые топологической оптимизации, приобретают «ажурные» формы, и их изготовление традиционными методами становится энерго- и трудозатратным, а порой и невозможным.

Методом трёхмерной печати планируется изготовление ДУ РН, силовых элементов (кронштейны, рамные конструкции, шпангоуты) и других элементов, позволяющих снизить вес РН за счёт топологической оптимизации.

## 2.5 Автоматизированная подготовка к пуску и пуск РН с мобильной стартовой платформы

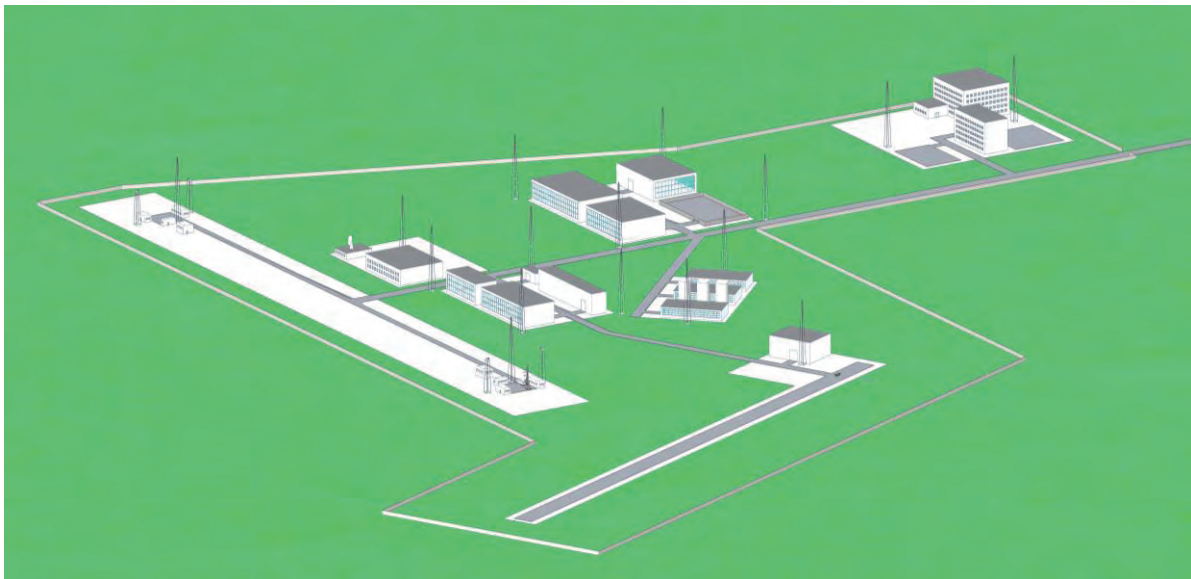
Для сокращения времени подготовки РН к пуску планируется автоматизация процессов заправки топливных баков и газовых баллонов, подготовки электрических систем и проверки всех систем РН. Автоматизация предпусковых операций также позволит обезопасить обслуживающий персонал от возможных нештатных ситуаций.



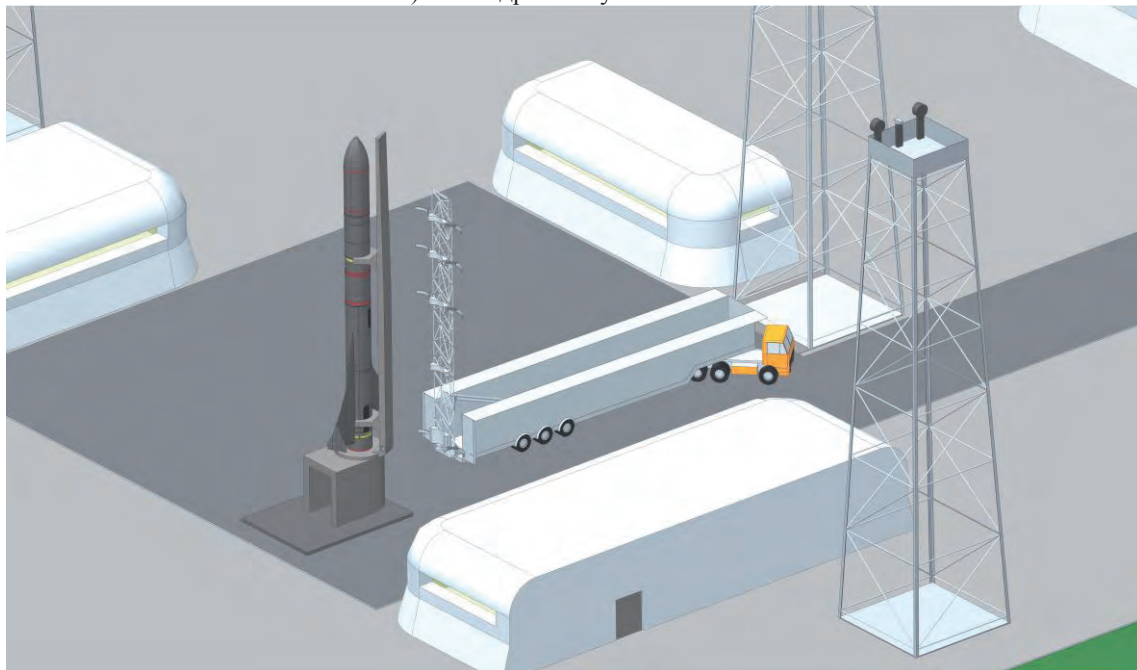
Для РН такого класса возможно создание мобильного стартового комплекса, способного производить запуски с более удобных позиций с точки зрения энергозатрат на выведение полезной нагрузки и выделения зон падения несгорающих частей РН.

Таким образом, запуск РН СЛК «Аквилон» может осуществляться:

- со стационарного стартового комплекса с применением установщика (рисунок 10);
- с передвижного наземного стартового комплекса (грузовой наземный транспорт с пусковым устройством, заправочной передвижной станцией и комплексом управления полётом) (рисунок 11);
- с водного стартового комплекса (морское судно с пусковым устройством, устройством заправки и комплексом управления полётом).



а) Космодром запуска РН СЛК



б) На стартовой площадке

Рисунок 10 – Подготовка к пуску РН СЛК «Аквилон» на специализированном космодроме



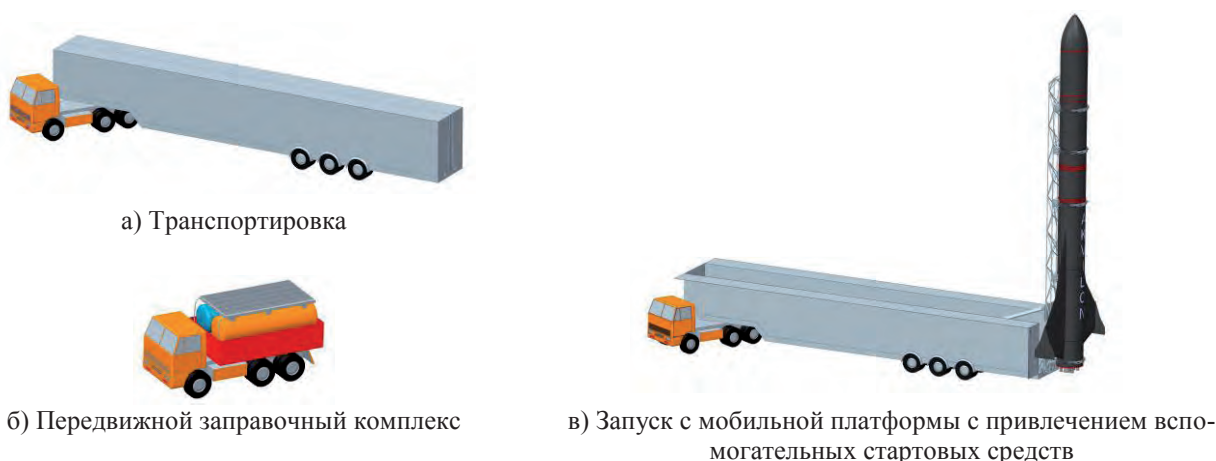


Рисунок 11 – Транспортно-пусковое оборудование для запуска РН СЛК «Аквилон»

## 2.6 Введение в состав ракетно-космического комплекса универсальной платформы с электроракетной двигательной установкой

С целью расширения возможностей космического комплекса целесообразно введение в его состав универсальной платформы с электроракетной двигательной установкой. Платформа может служить микроразгонным блоком или энергетическим модулем в составе МКА. При этом энергетические характеристики и запас рабочего тела обеспечивают выведение МКА на высокие орбиты, в том числе геостационарную. Электроракетную двигательную установку целесообразно строить на базе стационарных плазменных двигателей производства ОКБ «Факел» СПД-50 или СПД-50М, которые в настоящий момент серийно выпускаются. Сравнительные характеристики данных двигателей приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики СПД-50 и СПД-50М

Наименование характеристики	СПД-50	СПД-50М
Напряжение разряда, В	180	300
Ток разряда, А	1,2	1,0
Мощность, Вт	220	300
Тяга, мН	14,8	18
Удельный импульс, с	930	1300
Суммарный импульс, МН·с	> 0,27	> 0,40
КПД, %	35	35
Масса, кг	1,32	1,32
Ресурс, ч	> 5000	> 5000
Количество включений	> 6000	> 6000

## 3 Целевые экономические показатели проекта

Рассчитанные технико-экономические показатели проекта позволяют обеспечить выведение на ССО полезного груза массой до 300 кг. Стоимость выведения 1 кг полезной нагрузки составит 1,29 млн. руб. (\$22,87 тыс./кг), при этом аналогичный показатель новозеландской РН Электрон - \$33 тыс./кг.

На рисунке 12 приведён график инвестиций, расходов, притоков и чистой приведённой стоимости (NPV) рассматриваемого проекта. Анализ показывает, что при ставке дисконтирования

20%, количестве пусков 20 РН через четыре года после запуска проекта и последующем доведении количества пусков РН до 40-50 штук в год, срок окупаемости проекта составит 6,6 лет при внутренней норме доходности 28,3%. Для ракетно-космической промышленности, как наукоемкой отрасли, данные показатели являются конкурентными не только на российском, но и на мировом рынках.

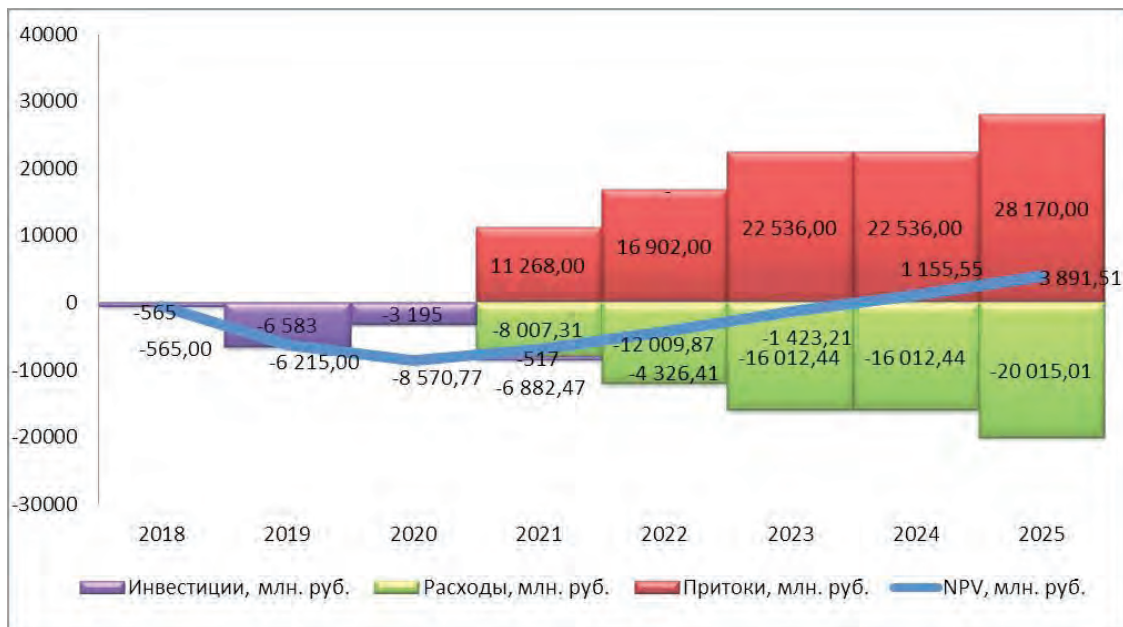


Рисунок 12 – График инвестиций, расходов, притоков и NPV проекта по годам

## Заключение

В связи с миниатюризацией КА появилась потребность в РН, способной оперативно выводить их на требуемые заказчиком орбиты. Для этой цели были созданы такие РН, как SS520 № 4 и Electron. В России – это РН семейства «Старт». Однако последний запуск РН «Старт-1» был осуществлен в 2006 году, а спрос на услуги запуска МКА возрастает.

Для предоставления услуг по запуску групп МКА предлагается разработать РН СЛК. На РН данного класса имеется возможность отработки перспективных технологических решений (применение углепластика в конструкции сухих отсеков и топливных баков, использование в качестве топлива пары «СПГ+ЖК», спасаемый блок первой ступени, применение 3D печати при изготовлении элементов конструкции, подготовка и пуск РН с мобильной стартовой платформы в полуавтоматическом режиме) с меньшими рисками и затратами по сравнению с РН среднего и тяжелого классов.

В работе предпринята попытка оценить текущие тенденции в ракетостроении в области РН СЛК и сформировать облик РН, отвечающей современным и прогнозируемым требованиям, в том числе с учётом проблемы многократного использования блоков РН. Вопрос по созданию подобной РН СЛК является актуальным и требует определённых организационных мероприятий.

## Список источников

- [1] *Макриденко, Л.А.* Микроспутники. Тенденции развития. Особенности рынка и социальное значение / Л.А. Макриденко, К.А. Боярчук // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2005, Том 102.- С.12-27.

- [2] **Рыжков, Е.** Провал японского «нано-лончера» / Е. Рыжков // *Новости космонавтики*. 2017, № 03(410). - С.35-36.
  - [3] **Черный, И.** Electron готовится к первому пуску / И. Черный // *Новости космонавтики*. 2017, № 05(412). - С.45.
  - [4] **Черный, И.** Второй старт «Электрона»// *Новости космонавтики*. 2018, № 3. - С.53-56.
  - [5] Virgin Galactic удваивает грузоподъемность разрабатываемого носителя Launcher One. 15.09.2015. - <http://kosmolenta.com/index.php/712-2015-09-15-launcher15>.
  - [6] **Ализар, А.** Дизайн лёгкой многоразовой ракеты-носителя Firefly Alpha. 9.07.2014. - <http://geektimes.com/post/229197/>.
  - [7] **Кербер, М.Л.** Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. - 560 с.
  - [8] Основные конструкторские и технологические разработки АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» - [http://www.tsniism.ru./production\\_1.htm](http://www.tsniism.ru./production_1.htm).
  - [9] NASA, Boeing Partner on Composite Rocket Fuel Tank. Mark Atwater posted on March 27, 2014 - <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/7394/NASA-Boeing-Partner-on-Composite-Rocket-Fuel-Tank.aspx>.
  - [10] Криогенные топливные баки. Проект ракеты-носителя сверхлёгкого класса с элементами конструкции из композитных материалов. - Москва, Сколково. ЗАО РК «Старт», 2012. - 47 с.
  - [11] **Бармин, И.В.** Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И.В. Бармин, И.Д. Кунис // МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. - 256 с.
  - [12] **Ефимочкин, А.Ф.** Разработка жидкостного ракетного двигателя на компонентах топлива сжиженный природный газ и кислород для многоразовой ракетно-космической системы// *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета)*. Авиационная и ракетно-космическая техника. 2012, №3-1 (34). - С.253-258.
  - [13] **Афанасьев, И.** Российская многоразовая система первого этапа // *Новости космонавтики*, 2013, № 12. - С.34-36.
  - [14] **Горохов, В.Д.** Исследование возможности создания жидкостного ракетного двигателя с изменяемой степенью расширения сопла / В.Д. Горохов, В.В. Черниченко // *Двигатель*, 2008, №5. - С.8-11.
  - [15] Центр аддитивных технологий. Возможности и достижения // Презентация. Центр технологической компетенции аддитивных технологий, 2017. - <http://3d-made.com>.
  - [16] **Комаров, В.А.** Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы / В.А. Комаров // *Онтология проектирования*. – 2017. – Т.7, №2(24). - С. 191-206. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.
- 

## **SPACE ROCKET COMPLEX PROJECT ON THE BASIS OF A SUPER-LIGHT CLASS ROCKET-CARRIER**

**Е.В. Kosmodemyansky<sup>1</sup>, А.В. Nagiev<sup>2</sup>, D.Y. Izratov<sup>2</sup>, V.A. Kirpichev<sup>3</sup>, P.A. Davydov<sup>4</sup>, А.А. Markarova<sup>5</sup>, I.V. Kozlova<sup>5</sup>, А.У. Okutin<sup>6</sup>, А.У. Pustovalov<sup>7</sup>.**

<sup>1</sup> *Experimental Design Bureau "Fakel", Kaliningrad, Russia*

*kosmodemyanskii@fakel-russia.com*

<sup>2</sup> *JSC «SRC «Progress», Samara, Russia*

*AN260192@gmail.com, izratov.dy@samspace.ru*

<sup>3</sup> *Samara National Research University, Samara, Russia*

*dean\_fla@mail.ru*

<sup>4</sup> *TSNIIMASH, Korolev, Russia*

*p.a.davidov@yandex.ru*

<sup>5</sup> *JSC "Khrunichev State Research and Production Space Center", Moskva, Russia*

*proton@khrunichev.ru*

<sup>6</sup> *JSC "Scientific-Production Association of Automatics", Ekaterinburg, Russia*

*okutinau@yandex.ru*

<sup>7</sup> *JSC "State Rocket Center named after Academician V.P. Makeev", Miass, Russia*

*endry\_ru@rambler.ru*

## Abstract

The article reviews the need of the rocket and space industry for rocket carrier (RC) intended for launching small spacecraft (SSC), namely in the RC of the superlight class (RC SLC). The most famous foreign projects of ultralight class launch vehicles, their features and characteristics are described. They were compared with the proposed RC SLC "Akvilon" on the main technical and economic indicators. The possibility of testing and applying the new technological and structural solutions on the proposed RC SLC "Akvilon" is considered: application in the design of polymer composites (carbon fiber-reinforced plastics in the design of both dry compartments and with the use of special wall coating, fuel tanks; carbon-graphite plastics in the design of high-heat loaded elements: combustion chambers, cusps of the head fairing, fairing of the 1st accelerator and front edges of the wing consoles (in the reusable configuration)); the use of additive technologies in the manufacture of the propulsion system, power elements using topological optimization at the stage of their design; new components of fuel, which allow to reduce the cost of fuel and the maintenance of the remote control of the launch vehicle during post-flight diagnostics, as well as to improve the energy characteristics of the launch vehicle and significantly simplify the layout of the compartments of the launch vehicle and the cooling system for the walls of the combustion chamber; creation of the returned and reused as a result of operational semi-automatic post-flight diagnostics of the 1st rocket unit. A new approach to research in this direction is the use of an integrated approach to examining current trends in the field of rocket production and taking into account the current state of the launch services market.

**Key words:** *superlight class rocket carrier, polymer composite materials, carbon fiber, carbon-carbon fiber, additive technology, liquefied natural gas, reusable rocket unit.*

**Citation:** *Kosmodemyanskiy EV, Nagiev AV, Izratov DY, Kirpichev VA, Davydov PA, Markarova AA, Kozlova IV, Okutin AY, Pustovalov AY.* Space rocket complex project on the basis of a super-light class rocket-carrier [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 8(4): 523-539. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-523-539.

## References

- [1] **Makridenko LA.** Microsatellites. Development trends. Market characteristics and social significance [In Russian]. *Electromechanical Issues. Proceedings of VNIIEM.* 2005; 102: 12-27.
- [2] **Ryzhkov E.** Japanese "nano-launcher" failure [In Russian]. *News of astronautics.* 2017; 3: 35-36.
- [3] **Cherny I.** Electron prepares for the first start-up [In Russian]. *News of astronautics.* 2017; 5: 45.
- [4] **Cherny I.** The second launch of "Electron" [In Russian]. *News of astronautics.* 2018; 3: 53-56.
- [5] Virgin Galactic's LauncherOne to utilize a dedicated aircraft. 14.09.2015. - <https://www.nasaspacesflight.com/2015/09/virgin-galactics-launcherone-utilize-dedicated-aircraft/>.
- [6] **Alizar A.** Firefly Alpha light reusable launch vehicle design 9.07.2014. - <http://geektimes.com/post/229197/>.
- [7] **Kerber ML, Vinogradov VM, Golovkin GS.** Polymeric composite materials: structure, properties, technology: studies. allowance [In Russian]. By ed. A.A. Berlin - SPb.: Profession, 2008. - 560 p.
- [8] The main design and technological developments of the Central Research Institute for Special Engineering, JSC [In Russian]. - [http://www.tsniism.ru/production\\_1.htm](http://www.tsniism.ru/production_1.htm).
- [9] NASA, Boeing Partner on Composite Rocket Fuel Tank. Mark Atwater posted on March 27, 2014 - <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/7394/NASA-Boeing-Partner-on-Composite-Rocket-Fuel-Tank.aspx>.
- [10] Cryogenic fuel tanks. Project of carrier rocket of extralight class with members from composite materials. Moscow, Skolkovo, CJSC RK Start, 2012, 47 pages.
- [11] **Barmine IV, Kunis ID.** Liquefied natural gas yesterday, today, tomorrow [In Russian]. MSTU. N.E. Bauman. 2009. - 256 p.
- [12] **Efimochkin AF.** Development of a liquid rocket engine on fuel components the liquefied natural gas and oxygen for reusable space-rocket system [In Russian]. *VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering.* 2012; 3(34): 253-258.
- [13] **Afanasyev I.** Russian reusable system of the first stage [In Russian]. *News of astronautics,* 2013; 12: 34-36.
- [14] **Gorokhov VD, Chernichenko VV.** Liquid rocket engine with changeable nozzle expansion extent creation possibility research [In Russian], *Engine,* 2008; 5: 8-11.
- [15] Center of additive technologies. Opportunities and achievements [In Russian]. Presentation. Center of technological competence of additive technologies, 2017. - <http://3d-made.com>.
- [16] **Komarov, V.A.** Design of power additive structures: theoretical foundations [In Russian]. *Ontology of Designing.* – 2017; 7(2): 191-206. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-191-206.

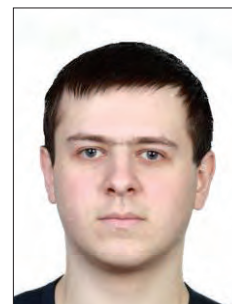


## Сведения об авторах



**Космодемьянский Евгений Владимирович** – к.т.н., генеральный конструктор ФГУП «ОКБ «Факел». Область научных интересов: проектирование КА.  
*Evgeniy Vladimirovich Kosmodemyanskiy* – PhD, General Designer of Experimental Design Bureau Fakel. His area of scientific interests is spacecraft design.

**Нагиев Александр Витальевич**, инженер-конструктор 3 категории РКЦ «Прогресс», аспирант кафедры «Сопротивление материалов» Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева. Область научных интересов: конструкция и проектирование ракетно-космической техники.



**Alexander Vitalyevich Nagiev** - design engineer of JSC «SRC «Progress», post-graduate student of «Resistance of Materials» department of Samara National Research University, Area of scientific interests: construction and design of missile and space equipment.



**Изратов Дмитрий Юрьевич** – заместитель начальника отдела бюджетирования сводного экономического планирования и отчетности АО РКЦ «Прогресс».

*Dmitry Yurievich Izratov* - deputy head of the budgeting and consolidated economic planning and reporting department of JSC Rocket space center "Progress".

**Кирпичев Виктор Алексеевич** – д.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов» Самарского университета. Область научных интересов: прочность элементов ракетно-космической техники.  
*Victor Alekseevich Kirpichev* - Doctor of Engineering, professor of «Resistance of Materials» department of Samara National Research University. Area of scientific interests: durability of elements of the mis-



ile and space equipment.



**Давыдов Павел Александрович** - ведущий инженер, руководитель молодежной научной лаборатории по направлению средств выведения, ФГУП ЦНИИмаш. Область научных интересов: инновационные технологии, конструкция и проектирование ракетно-космической техники.

*Pavel Aleksandrovich Davydov* – lead engineer, head of the youth science laboratory of launch vehicles, FGUP TSNIIMASH. Area of science interests: innovate technologies, launch vehicles design.

**Маркова Анаит Артуровна** - заместитель руководителя проекта, АО «ГКНПЦ им.М.В.Хруничева». Область научных интересов: инновационные технологии в ракетно-космической отрасли.  
*Anait Arturovna Markarova* – project deputy chief, Joint-Stosk Company “Khrunichiev State Research and Production Space Center”. Area of science interests: innovate technologies, launch vehicles design.



**Козлова Инна Валерьевна** – директор по развитию бизнес-систем АО «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева»

*Inna Valeryevna Kozlova* – Chief business development officer Joint-Stosk Company “Khrunichiev State Research and Production Space Center”.

**Окутин Алексей Юрьевич** - заместитель главного конструктора АО Научно производственное объединение автоматики им. академика Н.А. Семихатова.

*Alexey Yuryevich Okutin* - deputy chief designer of the JSC "Scientific-Production Association of Automatics" by Academician N.A. Semikhatov.

**Пустовалов Андрей Юрьевич** – начальник отдела АО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» по организации обеспечения качества, надёжности, безопасности и экспериментальной отработки ракетных и ракетно-космических комплексов.

*Andrei Yuryevich Pustovalov* - Head of the Department of the Joint-Stock Company “State Rocket Center named after Academician V.P. Makeev "on the organization of quality assurance, reliability, safety and experimental testing of rocket and rocket-space complexes.



УДК 05.13.01

## ЛОГИКО-СИСТЕМНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В НАУЧНЫХ ПРОЕКТАХ

В.Я. Цветков<sup>1</sup>, А.В. Козлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия  
svj2@mail.ru

<sup>2</sup>Физико-технологический институт Российского технологического университета (МИРЭА), Москва, Россия  
av-kozlov@mail.ru

### Аннотация

Статья посвящена исследованию логических методов при выполнении научных проектов. Раскрывается логическая схема научного проекта. Основой логического анализа является язык исчисления высказываний и язык предикатов. В результате исследования исходное информационное множество преобразуется в структурированную систему знаний. Логический анализ определяет область истинности системы знаний. Логико-системные исследования формируют структуру системы знаний. Системный подход выделяет другую часть множества, которую согласно Нариньяни можно назвать «не система». Информация, входящая в «не систему», подразделяется на «антагонизм» и неопределённость. Научное исследование имеет два направления исследований: «в глубину» и «в ширину». Направление «в глубину» направлено на достижение цели от начальной позиции исследований до конечной. Направление «в ширину» направлено на расширение исследований на каждом этапе безотносительно к конечной цели. Эти направления реализуются путём выявления и использования парадигматических и синтагматических отношений. В научном исследовании всегда возникает задача нахождения компромисса между углублением исследования и мерой его расширения. Парадигматические отношения служат основой построения семантического пространства области исследования. Семантическое пространство научного исследования содержит совокупность категорий и связей между ними, описывающих содержание области научных исследований. Его можно рассматривать как семантический кластер. Новизной следует считать введение понятия логико-системная последовательность и метод формирования такой последовательности. Логико системные последовательности связывают функциональный анализ, системный анализ и логику. Они служат основой формирования системы знаний.

**Ключевые слова:** научные исследования, логический анализ, логико-системные последовательности, системный анализ, парадигматические отношения, синтагматические отношения.

**Цитирование:** Цветков, В.Я. Логико-системные последовательности в научных проектах / В.Я. Цветков, А.В. Козлов// Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №4(30). - С.540-549. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-540-549.

### Введение

Построение логических конструкций и логического анализа широко применяется при выполнении научных проектов [1, 2]. В последние 15-20 лет термин научно-исследовательская работа (НИР) заменён на обобщающий термин «научных проект», по аналогии с таким же обозначением в западной литературе. Лингвистически научные исследования означают некий процесс. Проект - это сущность, которая характеризует проект работы. Но в научных исследованиях этот термин имеет двойственное значение: собственно проект и результат работы как реализация проекта. Научные исследования включают две дополняющие друг друга цели. Первая цель состоит в получении научного результата на основе проведённого исследования. Вторая цель состоит в научном обосновании структуры и по-

следовательности исследования, что может быть охарактеризовано как научное проектирование [3]. Научное проектирование характеризует те исследовательские работы, в которых обосновывается концепция и методика научного исследования. Научное проектирование является аналогом проектирования в конструкторской деятельности, но в области научных исследований. Логический анализ в научном проектировании является важным фактором, так как от степени логической обоснованности и непротиворечивости выполнения исследований зависит результат исследований. При этом нельзя обойтись только чистой логикой и логическими значениями «истина», «ложь». Необходимо использовать оптимизационные критерии. Это, в частности, обусловлено тем, что ресурсы исследования всегда ограничены, а задачи, возникающие в ходе исследования, могут появляться неограниченно. При выполнении научных проектов ставятся задачи: анализа области исследования, обоснование проекта исследования, обоснования метода или методов исследования, получения результатов исследования, комплексного анализа полученных результатов. При подготовке диссертаций на соискание учёной степени ставится задача проведения не только обоснованных научных исследований, но и обязательное получение новых научных решений [4]. Это требует использования качественного анализа, системного анализа и логических методов, совокупность которых можно назвать логически-системными последовательностями.

## 1 Материалы и методы

Материалами для написания данной работы послужили описания научных проектов, в том числе в виде научных отчётов и диссертаций. В качестве методов использованы общая логика, математическая логика, системный анализ.

### 1.1 Общая постановка научного исследования

Типовая схема научного исследования приведена на рисунке 1.

В распоряжении исследователя имеется исходное информационное множество (*data set - DS*) [5], которое представляет поле исследования и получения результатов. В общем случае реализация научного проекта (*SR*) представляет собой конъюнктивную форму типа

$$(1) \quad SR \sim (QA \wedge R \wedge LD \wedge StrA \wedge FA \wedge Comp \wedge LA \wedge SysA \wedge Con)$$

В выражение (1) входят следующие параметры: *QA* - первоначальный качественный анализ области исследований задачи и условий её решения; *R* - процедура систематизации и упорядочения исходных данных; *LD* - выбор языков описания эксперимента и языков анализа проекта; *StrA* - качественное выделение структуры области исследования; *FA* - функциональный анализ и функциональное наполнение проекта; *Comp* - вычисления и эксперимент; *LA* - логический анализ результата эксперимента; *SysA* - системный и предметный анализ результата эксперимента; *Con* - выводы на основе проведённых работ.

На начальной стадии качественного анализа, независимо от предметной области, все исследователи осуществляют контент-анализ. Контент-анализ (*content* - содержание) [6] представляет собой метод качественно-количественного анализа содержания информационного множества (*DS*) с целью выявления закономерностей, фактов и методов решений научных задач.

Первоначально для исследователя исходное информационное множество представляет собой аморфную не структурированную совокупность. Поэтому проведение качественного анализа [7, 8] даёт возможность кластеризации и систематизации результатов анализа. В упрощённом виде результат анализа представляет собой конъюнкцию факторов, которые можно назвать ключевыми.

$$(2) \quad DS \sim (\varphi_1 \vee \varphi_2 \vee \varphi_3 \vee \dots \vee \varphi_{1i} \vee \dots \vee \varphi_n)$$



Рисунок 1 - Структура научного проекта

В выражении (2)  $\varphi_{1i}$  -ключевые факторы или параметры [9],  $n$ – общее число таких факторов. Величины  $\varphi_{1i}$  - играют двойственную роль. С позиций качественного анализа они отражают качества, а с позиций логики и связанности они выполняют роль логических единиц или логических информационных единиц [10].

Выражение (2) по критериям математической логики [11] является неполным, а по критериям шкалирования переменных [12] представляет собой результат в номинальной шкале.

Для дальнейшего этапа формализации задачи необходимо использовать информационный [13] или формальный язык[14], включающий алфавит и синтаксис. Примером информационного языка является язык карт или язык схем информационно-измерительных систем. Эти языки являются дескриптивными. Для логического анализа необходимо использовать язык исчисления высказываний или язык предикатов. Пропозициональные переменные, логические связи и скобки составляют алфавит языка алгебры высказываний. С помощью алфавита строят логические формулы и логические функции. Совокупность логических выражений образует логические последовательности, которые переходят одна в другую.

Необходимо качественно различать символы эквивалентности  $\equiv$  и  $\sim$ . Символ  $\sim$  является символом формального языка, с помощью которого строятся формулы. Символ  $\equiv$  обозначает тождественное отношение на множестве формул.

Основой научного логического анализа является исчисление предикатов. Логика предикатов представляет собой логическую систему, в рамках которой можно исследовать струк-



туру и содержание высказываний, которые в рамках пропозиционального исчисления являются элементарными. Понятие предиката обобщает понятие «высказывание».

Для задания предиката от  $n$  аргументов ( $n$  –местного предиката) необходимо указать множества  $M_1, \dots, M_n$  — области изменения предметных переменных  $x_1, \dots, x_n$ .

Расширение логики высказываний до логики предикатов получается за счёт включения в логические формулы утверждений, являющихся предикатами. Так как предикаты — это отображения со значениями во множестве высказываний, где введены логические операции (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, импликация и др.), то эти операции (логические связи) определяются и для предикатов. При этом значения истинности сложных предикатов находятся в зависимости от значений связываемых предикатов по тем же правилам, что и для высказываний.

Логический анализ выполняется на многих этапах научного исследования, изображённого на рисунке 1. Он выполняется после проведения качественного анализа и после проведения систематики. Логический анализ применяют при выборе языка формализации и определения логической структуры исследования. Логический анализ применяют при анализе эксперимента и формулировке выводов. Таким образом, значение логического анализа при научных исследованиях – велико. При этом логические последовательности как совокупность формулировки  $n$ -местных предикатов играют главную роль в логическом анализе.

В результате логического анализа исходное множество преобразуется в структурированную, логически обоснованную модель проведения исследований. На заключительном этапе исследования используют функциональный и системный анализ. Таким образом, логический анализ и логически-системные последовательности представляют собой нить, которая связывает разные этапы исследований.

## 1.2 Комплексный анализ в научном исследовании

Общая схема научного проекта характеризуется связями по вертикали и по горизонтали для каждого этапа (рисунок 1). Вертикальные и горизонтальные последовательности действий образуют логико-системные последовательности. Логические последовательности это совокупность процессов и этапов действий, объединённых общей логикой достижения локальной или общей цели. Логико-системные последовательности включают функциональные действия, вычислительные действия, системный и логический анализ. Следует отметить, что понятие предиката может включать системные и функциональные связи, которые трансформируются в логические значения. Конкретный логический анализ обеспечивает целостность в системных исследованиях. Расширенное понятие предиката позволяет осуществлять комплексное применение логики и системного анализа, что обеспечивает полноту исследований. Выполнение научного исследования преобразует исходное информационное множество *Data set* в два множества или две части (рисунок 2).

Система результатов представляет собой структурированную систему знаний, для которой определена область истинности. Другая часть представляет собой «не систему», или всё, что не вошло в первую часть.

На заключительном этапе научных исследований основную роль играет системный анализ, а логический анализ определяет область истинности для системы, которая сформирована методами системного анализа. Система знаний, полученная в результате научного проектирования и исследования, включает совокупности связанных между собой фактов, закономерностей, правил, выводов. В ходе исследований создаётся научная система, включающая связи и элементы. Эта система имеет область истинности, которая также определяется в ходе логического анализа. В результате анализа информация, входящая в систему результатов, подразделяется на достоверную информацию и информационную неопределённость. Досто-

верная информация либо подтверждает известные в науке положения, либо содержит научную новизну.

Системный оппозиционный подход [15] выделяет другую часть множества, которую согласно Нариньяни можно назвать «не система» [16]. Информация, входящая в «не систему», подразделяется на антагонизм и неопределённость. Антагонизм обозначает ту часть информации, которая опровергает решение задачи исследования или противоречит ей. Эта часть информации служит основой для продолжения исследований и разрешения противоречий.

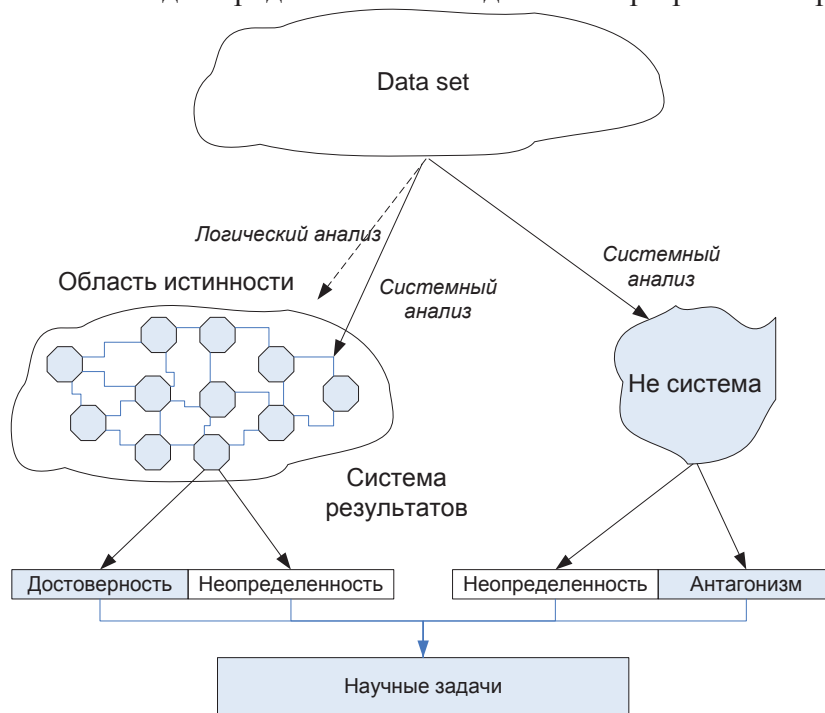


Рисунок 2 – Результирующая ситуация научного исследования

Неопределённость присутствует в обеих областях и требует дальнейшего анализа. Именно из области неопределённости возникают постановки новых задач и новых проблем. В результате научного исследования априорно существующая система знаний расширяется за счёт новых апостериорных знаний, вытекающих из решения научных задач.

Промежуточные этапы решают задачи логического построения структуры результатов и являются итогом логической последовательности. Эта логическая последовательность служит основой построения доказательной базы. Сама доказательная база, как результирующая логическая цепочка, представлена в выводах.

### 1.3 Парадигматические и синтагматические логические последовательности

В научном исследовании выделяют два направления исследований: «в глубину» и «в ширину». Направление «в глубину» направлено на достижение цели от начальной позиции исследований до конечной. Направление «в ширину» направлено на расширение исследований на каждом этапе безотносительно к конечной цели. При большом объёме исследований «в ширину» становится затруднительно получение конечной цели. Поэтому перед исследователем всегда стоит задача нахождения компромисса между углублением исследования и мерой его расширения.

Существуют отношения в информационном поле, которые отражают исследование «в глубину» и исследование «в ширину». Эти отношения называют парадигматическими и син-

тагматическим отношениями [17]. Такие отношения служат основой исследования и образования функциональных или логических цепочек. Парадигматические и синтагматические отношения дают возможность построения логических цепочек и логических последовательности. Парадигматические логические последовательности соединяют разные этапы исследования. Синтагматические логические последовательности и логические цепочки расширяют исследования отдельных этапов. Однако это ставит дополнительную задачу научного исследования: выявления парадигматических и синтагматических отношений между ключевыми показателями, входящими в выражение (2).

Логической цепочкой называют совокупность логических выражений, связанных отношениями или предположениями [18, 19]. Они могут быть связаны слабо и сильно. Слабость связи логических цепочек создаёт неопределённость и элементы противоречия. Логико-системная последовательность - это сильно связанные логические выражения. Связь в логических последовательностях может быть логической, функциональной и ассоциативной. Важным является то, что внутри логических последовательностей нет противоречий.

Примером синтагматических отношений являются отношения цитируемых публикаций с тематикой исследования. Количество цитируемых публикаций по отдельному разделу исследования можно раздувать неограниченно. Но это не приблизит к цели исследования. При этом цитирования могут быть формальными и содержательными. Формальная логическая связь состоит в том, что названия цитируемых публикаций явно коррелируют с названием выбранной темы раздела исследований.

Содержательные цитирования имеют характер дискурса. Содержательная логическая связь состоит в том, что содержание публикаций должно подтверждать, опровергать или доказывать положения исследования. Цитируемые публикации разделяют на три категории: обзорные, «творческие» (содержащие конкретные новые результаты) и дискуссионные. В совокупности эти публикации образуют логическую последовательность, которая в итоге должна подтверждать полученные научные результаты.

Парадигматическая логическая последовательность научных исследований включает рисунки и схемы. Совокупность рисунков и схем является иллюстративной логической последовательностью, отражающей содержание научного исследования и подтверждающей логику изложения. Парадигматическая логическая последовательность связана с построением семантического пространства области исследования. Семантическим пространством называют совокупность организованных признаков, описывающих некоторую содержательную область [19]. Семантическим пространством научного исследования называется совокупность ключевых слов, категорий и связей между ними, описывающих содержание области научных исследований. В этом случае можно говорить о семантическом кластере, центроидом которого является тема выбранного исследования.

Построение семантического пространства включает четыре этапа [18]. Первый этап связан с выделением ключевых категорий и положений: семантических объектов, предикативных объектов. Этот этап можно назвать категориальным.

Второй этап связан с выделением семантических связей анализируемых категорий. В экспериментальной семантике, психолингвистике в качестве методик выделения семантических связей используются ассоциативный эксперимент, в котором мерой семантической связи пары объектов является сходство ассоциаций. Целостность семантических связей зависит от методики их анализа и выбора. На этом этапе большое значение имеет когнитивный анализ.

Третий этап построения семантического пространства связан с построением семантической структуры на основе выделенных категорий и связей между ними. На этом этапе основным является системный анализ.

Четвёртый этап построения семантического пространства связан с построением механизма интерпретации семантической структуры. На этом этапе большое значение имеют системный и логический анализ.

## **2 Обсуждение**

Проведённый анализ позволяет говорить о необходимости разделения понятий научное исследование и научный проект. Научный проект во многом определяет качество и достоверность результатов научного исследования. Научное исследование включает исходное не структурированное, не систематизированное информационное множество (data set) также методы анализа и область истинности исследований. Научный проект представляет собой структурированную, систематизированную систему результатов, связанных между собой. Связанные результаты (научный проект) обладают свойством целостности, структурированности и системности. Научный проект соединяет постановку исследований с результатом научного исследования. В свою очередь научный проект требует более тщательного логического обоснования в сравнении с самим исследованием. В частности, на стадии постановки и первичной обработки информационного множества целесообразно выявить наличие парадигматических и синтагматических отношений, которые служат основой построения исследовательских схем. Изначально в научном исследовании на стадии постановки заложены проблемы и противоречия, которые решаются не только средствами логики, а средствами научных теорий и системного анализа. Научный проект представляет собой логически согласованный объект, и он больше подчиняется законам логики. Противоречия в нём должны быть исключены, что даёт основание применять логику для его обоснования. Результат научного исследования также должен представлять не противоречивый объект, что даёт основание применять логику в сочетании с другими методами оценки качества результатов исследования.

Окончательное формирование системы знаний осуществляется за счёт системного анализа. Объединение разных методов анализа в единую логическую цепочку приводит к новому методу логико-системной последовательности. Новым результатом является метод формирования логико-системной последовательности.

## **Заключение**

Обоснованность и достоверность научных исследований связана с логикой и наборами логических последовательностей, одни из которых решают частные задачи, а другие объединяют эти частные решения в логические интегрирующие схемы. Интеграция исследований осуществляется за счёт нахождения и использования парадигматических отношений. Частные решения раскрываются за счёт нахождения и использования синтагматических отношений. Это подчёркивает важность нахождения этих отношений и их логической проверки. Формальная логика не решает задачи научного исследования. Исследование должно включать разнообразные методы анализа. Объединением этих методов в единую систему являются логико-системные последовательности. Логика должна присутствовать на стадии постановки исследования и проведения анализа первичных данных. Можно говорить о том, что логико-системные последовательности являются одним из методов обоснования научного исследования, который требует дальнейших исследований и развития.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Robinson, E.J.** Analyzing the impact of science reporting / E.J. Robinson // *Journalism Quarterly*. 1963. V.40. – N.3. – P.306-314.
- [2] **Condit, C.** Science reporting to the public: Does the message get twisted? / C. Condit // *Canadian Medical Association Journal*. – 2004. V.170. – N.9. – P.1415-1416.
- [3] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // *Онтология проектирования*. – 2013. – №1(7). – С.26-34.
- [4] **Кудж, С.А.** Системный подход в диссертационных исследованиях / С.А. Кудж, В.Я. Цветков // *Перспективы науки и образования*. - 2014. - №3. – С.26-32.
- [5] **Legendre, P.** Complex ecological data sets / P. Legendre, L. Legendre // *Developments in environmental modeling*. – Elsevier, 2012. – V.24. – P.1-57.
- [6] **Graneheim, U.H.** Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness / U.H. Graneheim, B. Lundman // *Nurse education today*. – 2004. – V. 24. – N.2. – P.105-112.
- [7] **Elo, S.** The qualitative content analysis process / S. Elo, H. Kyngäs // *Journal of advanced nursing*. – 2008. – V.62. – N.1. – P.107-115.
- [8] **Tsvetkov, V.Ya.** Qualitative Spatial Reasoning and Spatial Relations / V.Ya. Tsvetkov // *European Journal of Psychological Studies*, 2017, 5 (1). - P.12-20.
- [9] **Clarke, D.** Key indicators of the transition from social to problem gambling / D. Clarke, S. Tse, M. Abbott, S. Townsend, P. Kingi, W. Manaia // *International Journal of Mental Health and Addiction*. – 2006. V.4. – N.3. – P.247.
- [10] **Tsvetkov, V.Ya.** Logic units of information systems / V.Ya. Tsvetkov // *European Journal of Natural History*. – 2009. – N.2. – P.99-100.
- [11] **Quine W.** *Mathematical logic*. – Harvard University Press, 2009.
- [12] **Salter, K.** Clinical Outcome Variables Scale: A retrospective validation study in patients after stroke / K. Salter, J. Jutai, N. Foley, R. Teasell // *Journal of rehabilitation medicine*. – 2010. – V.42. – N.7. – P.609-613.
- [13] **Чехарин, Е.Е.** Языки информационных технологий / Е.Е. Чехарин // *Славянский форум*. - 2017. - 2(16). – С.57-61.
- [14] **Rozenberg G., Salomaa A.** (ed.). *Handbook of Formal Languages: Volume 3 Beyond Words*. – Springer Science & Business Media, 2012.
- [15] **Tsvetkov, V.Ya.** Opposition information analysis / V.Ya. Tsvetkov // *European Journal of Technology and Design*. – 2014. - Vol.(6), № 4. – P.189-196.
- [16] **Нариньяни, А.С.** НЕ-факторы: краткое введение / А.С. Нариньяни // *Новости искусственного интеллекта*. 2004. - N.2. - С.52–63.
- [17] **Чехарин, Е.Е.** Парадигматические и синтагматические отношения в информационном моделировании / Е.Е. Чехарин // *Перспективы науки и образования*. - 2016. - №4. - С.13-17.
- [18] **Раев, В.К.** Логические цепочки / В.К. Раев, В.Я. Цветков // *Дистанционное и виртуальное обучение*. 2018. - № 1(120). – С.14-21.
- [19] The logical chain: Continuing professional development in effective schools. Document reference number: HMI 2639. – *Ofsted*. London, 2006. - <http://dera.ioe.ac.uk/5999/>.

## LOGICAL-SYSTEM SEQUENCES IN SCIENTIFIC PROJECTS

V.Ya. Tsvetkov<sup>1</sup>, A.V. Kozlov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russia*  
 cvj2@mail.ru

<sup>2</sup> *Institute of Information Technologies of Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia*  
 mordvinov@mirea.ru

## Abstract

The article explores logical methods in the implementation of scientific projects. Paper describes the logical scheme of a scientific project. The basis of logical analysis is the language of propositional calculus and the language of predicates. Scientific research transforms the initial information set into a structured system of knowledge. Logical analysis

determines the domain of truth of the knowledge system. Logic-system research forms the structure of the knowledge system. The system approach identifies a part of the set, which according to Narinyani is called «not a system». The information included in the «non-system» is divided into «antagonism» and uncertainty. Scientific research has two directions of research: «in depth» and «in width». The direction «in depth» is aimed at achieving the goal from the initial position of research to the final one. The «breadth» direction is aimed at expanding research at each stage irrespective of the final goal. These directions are realized by revealing and using paradigmatic and syntagmatic relations. Scientific research always solves the problem of finding a compromise between the deepening of research and the measure of its expansion. Paradigmatic relations are the basis for constructing the semantic space of the field of study. The semantic space of scientific research contains a set of categories and connections between them that describe the content of the field of scientific research. It can be considered as a semantic cluster, logical-system sequences link system analysis and logic. They serve as the basis for the formation of a knowledge system.

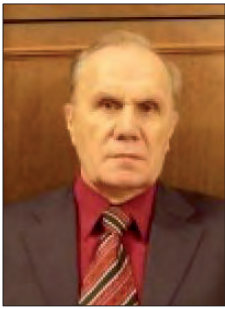
**Keywords:** *scientific research, logical analysis, logical-system sequences, system analysis, paradigmatic relations, syntagmatic relations.*

**Citation:** *Tsvetkov VYa, Kozlov AV. Logical-system sequences in scientific projects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 540-549. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-540-549.*

## References

- [1] **Robinson EJ.** Analyzing the impact of science reporting // *Journalism Quarterly*. – 1963; 40(3): 306-314.
- [2] **Condit C.** Science reporting to the public: Does the message get twisted? // *Canadian Medical Association Journal*. – 2004; 170(9) 1415-1416.
- [3] **Borgest NM.** Scientific basis for the ontology of designing [Nauchnyj bazis ontologii proektirovaniya] [In Russian]. *Ontology of designing [Ontologija proektirovaniya]*. – 2013; 1: 26-34.
- [4] **Kudzha SA, Tsvetkov VYa.** System approach in dissertation research [Sistemnyj podhod v dissertacionnyh issledovaniyah] [In Russian]. *Prospects for science and education [Perspektivy nauki i obrazovaniya]*. – 2014; 3: 26-32.
- [5] **Legendre P, Legendre L.** Complex ecological data sets // *Developments in environmental modeling*. – Elsevier, 2012; 24: 1-57.
- [6] **Graneheim UH, Lundman B.** Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness // *Nurse education today*. – 2004; 24(2): 105-112.
- [7] **Elo S, Kyngäs H.** The qualitative content analysis process // *Journal of advanced nursing*. – 2008; 62(1): 107-115.
- [8] **Tsvetkov VYa.** Qualitative Spatial Reasoning and Spatial Relations // *European Journal of Psychological Studies*, 2017; 5 (1): 12-20.
- [9] **Clarke D, Tse S, Abbott M, Townsend S, Kingi P, Maniaia W.** Key indicators of the transition from social to problem gambling // *International Journal of Mental Health and Addiction*. – 2006; 4(3): 247.
- [10] **Tsvetkov VYa.** Logic units of information systems // *European Journal of Natural History*. – 2009; 2: 99-100.
- [11] **Quine W.** *Mathematical logic*. – Harvard University Press, 2009.
- [12] **Salter K, Jutai J, Foley N, Teasell R.** Clinical Outcome Variables Scale: A retrospective validation study in patients after stroke // *Journal of rehabilitation medicine*. – 2010; 42(7): 609-613.
- [13] **Chekharin EE.** Information Technology Languages [Yazyki informacionnyh tekhnologij] [In Russian]. *Slavic Forum [Slavyanskij forum]*. – 2017; 2(16): 57-61.
- [14] **Rozenberg G, Salomaa A.** (ed.). *Handbook of Formal Languages: Volume 3 Beyond Words*. – Springer Science & Business Media, 2012.
- [15] **Tsvetkov VYa.** Opposition information analysis // *European Journal of Technology and Design*. – 2014; 6(4): 189-196.
- [16] **Narin'yan AS.** Non-factors: a brief introduction [NE-factory: kratkoe vvedenie] [In Russian]. *News of artificial intelligence [Novosti iskusstvennogo intellekta]*. – 2004; 2: 52–63.
- [17] **Chekharin EE.** Paradigmatic and syntagmatic relations in information modeling [Paradigmatische i sintagmaticheskie otnosheniya v informacionnom modelirovanii] [In Russian]. *Prospects of science and education [Perspektivy nauki i obrazovaniya]*. – 2016; 4: 13-17.
- [18] **Raev VK, Tsvetkov VYa.** Logical chains [Logicheskie cepochki] [In Russian]. *Remote and virtual learning [Distancionnoe i virtual'noe obuchenie]*. 2018; 1(120): 14-21.
- [19] *The logical chain: Continuing professional development in effective schools. Document reference number: HMI 2639. – Ofsted. London, 2006. - <http://dera.ioe.ac.uk/5999/>*

## Сведения об авторах



**Цветков Виктор Яковлевич**, 1945 г. рождения. Окончил Иркутский государственный университет в 1967 г., д.т.н. (1995). Заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития НИИАС. Действительный член международной академии наук Евразии, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э.Циолковского, действительный член Российской академии образования, президент «Института гуманитарных наук, экономики и информационных технологий» (Болгария). Лауреат Премии президента РФ в области образования (2003), лауреат Премии правительства РФ (2014), почётный работник науки и техники РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, автор более 1200 печатных работ, в том числе 92 монографий, 64 учебных пособий, 66 дипломов и патентов.

**Victor Yakovlevich Tsvetkov** (b. 1945) graduated from the Irkutsk State University in 1967 (Doctor of Engineering 1995). Deputy Head of the Center for Strategic Analysis and Development of NIIS. A full member of the International Academy of Sciences of Eurasia (IEAS), a full member of the Russian Academy of Cosmonautics by Tsiolkovsky, full member of the Russian Academy of Education, president of the Institute of Humanitarian Sciences, Economics and Information Technologies, EIOD IKNIT (Bulgaria), scientific secretary of the 6th division of the Russian Academy of Cosmonautics. Laureate of the Presidential Prize in Education (2003), Laureate of the Government of the Russian Federation Prize (2014), Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation. Author of more than 1,100 printed Works, including 82 monographs, 64 teaching aids, 66 diplomas and patents.



**Козлов Александр Вячеславович**, 1982 г. рождения. Окончил Московский институт электронной техники - ГОУ ВПО МИЭТ (сейчас НИУ МИЭТ) в 2005 г. Заместитель директора Физико-технологического института Московского технологического университета (МИРЭА).

**Alexander Vyacheslavovich Kozlov** (b. 1982). He graduated from the Moscow Institute of Electronic Technology - MIET, in 2005. Deputy Director of the Institute of Physics and Technology of Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russia.

УДК 004.822: (620.9+504.05)

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ГЕОЭКОЛОГИИ

Л.В. Массель<sup>1</sup>, И.Ю. Иванова<sup>2</sup>, Т.Н. Ворожцова<sup>3</sup>, Е.П. Майсюк<sup>4</sup>,  
А.К. Ижбулдин<sup>5</sup>, Т.Г. Зорина<sup>6</sup>, А.Р. Барсегян<sup>7</sup>

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия*

<sup>1</sup> massel@isem.irk.ru, <sup>2</sup> nord@isem.irk.ru, <sup>3</sup> tnn@isem.irk.ru, <sup>4</sup> maysyuk@isem.irk.ru, <sup>5</sup> izhbuldin@isem.irk.ru

<sup>6</sup> *Институт энергетики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, tanya.zorina@tut.by*

<sup>7</sup> *Инженерная академия Армении, Ереван, Армения, razmik.barseghyan@gmail.com*

### Аннотация

В статье представлен подход к решению проблемы оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. Работа выполняется в рамках Международного проекта совместно с исследователями Беларуси и Армении при поддержке фондов ЕАПИ-РФФИ. Рассматриваются базовые понятия новой междисциплинарной области исследований – геоэкологии, основной задачей которой является изучение состояния жизнеобеспечивающих ресурсов под влиянием природных и антропогенных факторов. Влияние энергетики как одного из основных антропогенных факторов очевидно и требует специального исследования, в том числе и с точки зрения взаимосвязи основных понятий. Для учета требований геоэкологии к энергетике, связанных с необходимостью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды, предлагается использовать понятие «качество жизни». В статье даётся определение основных понятий геоэкологии, имеющих отношение к исследованиям влияния энергетики на геоэкологию региона. Приведены примеры онтологий, отображающих основные взаимосвязи энергетики и геоэкологии. Для наглядности онтологии представлены в графическом виде, выполнены с использованием инструментария StarTools.

**Ключевые слова:** геоэкология, энергетика, антропогенный фактор, жизнеобеспечивающий ресурс, природный фактор, онтология, онтологический инжиниринг, база знаний.

**Цитирование:** Массель, Л.В. Онтологические аспекты исследования взаимовлияния энергетики и геоэкологии / Л.В. Массель, И.Ю. Иванова, Т.Н. Ворожцова, Е.П. Майсюк, А.К. Ижбулдин, Т.Г. Зорина, А.Р. Барсегян // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №4(30). – С.550-561. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561.

### Введение

Исследования по оценке влияния энергетики на геоэкологию региона выполняются совместно с коллективами учёных Беларуси и Армении в рамках международного проекта при поддержке фондов ЕАПИ<sup>1</sup>-РФФИ. С одной стороны, обеспеченность энергетическими ресурсами является необходимой составляющей качества жизни, которое рассматривается как сочетание объективных (условия жизни) и субъективных (оценка этих условий индивидуумом) факторов. С другой стороны, негативное влияние объектов энергетики на экологию снижает качество жизни населения. Выявить вклад различных отраслей промышленности в воздействие на элементы природной среды достаточно сложно, особенно в части вклада в формирование уровня загрязнения. В настоящее время экологические оценки деятельности

---

<sup>1</sup> ЕАПИ – Евразийская Ассоциация поддержки научных исследований, учрежденная в июле 2016 г. по инициативе РФФИ совместно с партнерскими организациями Беларуси, Армении, Киргизии и Монголии.



объектов энергетики осуществляются путём проведения замеров и постоянного мониторинга эмиссии загрязняющих веществ в элементы природной среды, которые служат основой для разработки норм допустимых выбросов/сбросов/образования отходов. Кроме того, оценка вклада объектов энергетики в воздействие на элементы природной среды проводится с использованием статистической информации, государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды», а также отчётных данных конкретных предприятий.

Основным критерием выделения влияния энергетических объектов на природную среду служит перечень характерных загрязняющих веществ, поступающих при их функционировании: водяной пар, углерод (сажа), сланцевая зола, мазутная зола ТЭЦ в пересчёте на пятиокись ванадия, пыль неорганическая, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, бенз(а)пирен, золошлаковые отходы.

При отсутствии достоверной информации оценку влияния энергетики можно провести по результатам вычислительного эксперимента с использованием существующих утверждённых Правительством РФ методик, например, по определению количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок различной мощности.

В проекте поставлена фундаментальная научная проблема, которая заключается в разработке методов и геоинформационных технологий для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. Первоочередной задачей для решения этой проблемы является выполнение онтологического инжиниринга предметной области (ПрО).

С российской стороны объектом исследований является Байкальская природная территория, сопоставимая по размерам с территориями Беларуси и Армении. Исследования в разных странах ведутся параллельно, авторы обмениваются результатами, разрабатываемые совместно методы и технологии применяются к конкретным объектам энергетики в каждой стране. Для реализации проекта российской стороной предложена разработка Web-ориентированной информационной системы, которая интегрирует математические и семантические методы, инструментальные средства оценки влияния энергетики на геоэкологию региона, базу знаний и геоинформационную систему. При разработке интерфейса предполагается реализовать, в частности, подсистемы описания знаний и манипулирования знаниями, что требует выполнения онтологического инжиниринга исследуемой ПрО и разработки системы онтологий для формализованного представления знаний.

## **1 Геоэкология и её связь с энергетикой**

Термин «геоэкология» ввёл немецкий географ Карл Тролль в 1930-х годах, понимая под ней географическую, то есть ландшафтную экологию<sup>2</sup>. С тех пор этот термин существенно видоизменился, но до сих пор нет его однозначной трактовки. В [1, 2] предлагается определение: «Геоэкология – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов». В некоторых случаях геоэкологию определяют, как комплексную прикладную дисциплину, которая отличается от биологических и соответствует географическим или геологическим дисциплинам. Это определение не противоречит определению, данному в [1, 2]. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. Иными словами, термин геоэкология сочетает в себе несколько понятий, объединяющих

<sup>2</sup> Марков К.К. Карл Тролль и современная география / Изв. АН СССР. Серия «География». 1976. -№ 3. - С. 145-154.

характеристики и свойства геосферных оболочек Земли и их изменения под воздействием деятельности человека [1-5].

В 1993 г. академик РАН В.И. Осипов дал своё определение геоэкологии как науки, изучающей геосферные оболочки Земли и происходящие в них изменения под воздействием как природных, так и антропогенных факторов [5]. К геосферным оболочкам Земли отнесены литосфера, атмосфера, гидросфера и биосфера, т.е. живая (растительность, живые организмы, в том числе человек) и неживая природа (минеральная основа), которые взаимодействуют друг с другом, создавая необходимые условия и свойства для поддержания устойчивости своей системы (оболочки).

В качестве антропогенного фактора принято рассматривать деятельность человека, способную преобразовывать и изменять состав, структуру и свойства геосферных оболочек и формировать новые специфические геосферные оболочки: ноосферу и техносферу. В данном исследовании в качестве антропогенного фактора рассматривается функционирование энергетических объектов и их влияние на элементы природной среды (или геосферные оболочки). Для оценки вредных выбросов объектами энергетики используются нормативные методики и результаты вычислительных экспериментов с использованием математических методов и моделей, в т.ч. моделей рассеивания (переносов загрязнений по воздуху).

К энергетическим объектам относятся предприятия по добыче топливно-энергетических ресурсов: угля, нефти, природного газа, торфа, а также предприятия, преобразующие добытые топливно-энергетические ресурсы в тепловую и электрическую энергию, и энергообъекты, осуществляющие передачу энергии конечному потребителю [6].

В каждом виде деятельности (от добычи до передачи) энергообъекты оказывают антропогенное влияние на все элементы природной среды (геооболочки). На атмосферу влияние оказывается посредством поступления загрязняющих веществ, не присущих воздушному бассейну, так называемых выбросов, на гидросферу – посредством сбросов загрязнённых стоков, образованных в результате энергетического производства. Воздействие на литосферу связано с нарушением ландшафтов и образованием значительного количества отходов (углебодычи или золошлаковые), в том числе происходит изъятие значительных территорий под их складирование. Кроме того, энергетическое производство и передача энергоресурсов связаны с шумовым, тепловым и электромагнитным воздействием на природную среду, что характеризует воздействие на биосферу в целом.

Систематизация и анализ существующих данных о воздействии энергетики на природную среду позволяют выделить наибольшее влияние того или иного вида деятельности на геоэкологию. Так, добыча топливно-энергетических ресурсов в большей степени связана с воздействием на литосферу (отходы) и гидросферу (смывные или буровые воды). Преобразование топлива в энергию связано с бóльшим влиянием на атмосферу, когда генерирующие объекты выбрасывают загрязняющие вещества, характерные при сжигании органических топлив, в воздушный бассейн (твёрдые примеси и газообразные компоненты), а в гидросферу поступают подогретые нормативно-чистые воды, нарушая гидробиологический и химический состав вод.

В целом наибольшее влияние энергетики на природную среду происходит через атмосферу, куда попадает значительный объём вредных загрязняющих веществ, в отдельных случаях способных распространяться на большие расстояния и выпадать на значительные площади, вымываться из воздуха и осаждаться на водные поверхности и почвы.

Как правило, при постановке и решении экологических проблем рассматривается уровень загрязнения в целом, без выделения составляющей, создаваемой энергетическими объектами. Это обосновано с точки зрения конечного результата, но затрудняет планирование и выполнение мероприятий по снижению негативного влияния энергетических объектов на

геоэкологию региона. Исследования в этой области проводятся, как в России, например [7, 8] (в т.ч., исследования авторов - [12, 13]), так и в других странах [9-11].

Таким образом, развитие энергетики позволяет, с одной стороны, улучшать условия жизни населения (биосферного элемента геоэкологии), с другой, посредством негативного влияния на элементы природной среды и человека – их ухудшать. В рассматриваемом проекте ставится проблема разработки методов и технологий оценки влияния энергетики на геоэкологию региона с учётом качества жизни населения [14].

## **2 Базовый тезаурус исследуемой предметной области**

Для решения проблемы оценки влияния энергетики на геоэкологию необходимо согласовать терминологию, отражающую взаимосвязи этих ПрО. Базовая терминология, являющаяся пересечением в рассматриваемых ПрО, касается, главным образом, природных ресурсов, которые энергетическая отрасль непосредственно широко потребляет, а геоэкология изучает с точки зрения их сохранения и контроля за рациональным использованием. Анализ приведённых некоторых определений основных терминов показывает тесные взаимосвязи этих ПрО. Определения в области геоэкологии базируются на источниках [1-5], определения из области энергетики соответствуют [7].

*Геоэкология* - базовое определение и его варианты приведены в разделе 1 (иногда рассматривается как синоним ландшафтной экологии - географическая экология).

*Природные ресурсы* – элементы природы, необходимые человеку для его жизнеобеспечения и вовлекаемые им в материальное производство (атмосферный воздух, вода, почва, солнечная энергия, полезные ископаемые, растительность, животный мир, климат и др.).

*Геосфера* – сферические оболочки, формирующие планету Земля.

*Литосфера* – твёрдая оболочка Земли, состоит из земной коры и верхней части мантии.

*Атмосфера* – газовая оболочка, окружающая планету Земля

*Гидросфера* – водная оболочка Земли; её принято делить на Мировой океан, континентальные поверхностные воды и подземные воды.

*Биосфера* – оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности; глобальная экосистема Земли.

*Техносфера* – часть биосферы, преобразованная людьми с помощью прямого и косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия социально-экономическим потребностям человечества.

*Антропогенный фактор* – экологический фактор, обусловленный различными формами влияния деятельности человека на природу. Антропогенные факторы могут быть первичными, или прямыми (истребление, акклиматизация, интродукция), и вторичными, или косвенными (вырубка лесов, осушение болот, распашка земель и тому подобное).

*Энергетика* – область народного хозяйства, науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, аккумулирование, распределение и потребление различных видов энергии<sup>3</sup>.

*Производственный процесс* – совокупность технологических и иных необходимых для производства процессов и операций, включая трудовую деятельность и функции работающих<sup>4</sup>. В энергетике основные производственные процессы включают: добычу и транспортировку топлива, переработку топлива и преобразование его в энергию, преобразование в энергию возобновляемых природных энергоресурсов, транспортировку энергии.

<sup>3</sup> ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам.

<sup>4</sup> ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности

*Энергетический ресурс* – совокупность природных и производственных энергоносителей, запасённая энергия которых при существующем уровне развития техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности<sup>5</sup>.

Первичные энергетические ресурсы – это энергия природного происхождения (природное топливо, энергия водных ресурсов, энергия солнца, ветра и др. виды).

Вторичные энергетические ресурсы – это энергия, образующаяся в результате переработки или преобразования различных видов топлива, а также в результате производственных процессов (продукты нефтепереработки, отработанный пар, отходы тепла, сбережённая энергия и др. виды).

Топливо-энергетические ресурсы – это энергия различных видов топлива (каменный и бурый уголь, нефть, горючие газы, горючие сланцы, торф, дрова и др. виды).

Возобновляемые природные энергетические ресурсы (ВПЭР) – ресурсы, запас которых непрерывно возобновляется природой (энергия солнца, энергия вод, энергия приливов, геотермальная энергия, тепловая энергия земли, воздуха, воды, биомасса и др. виды).

Невозобновляемый энергетический ресурс – ресурс, запас которого принципиально исчерпаем (минеральное топливо, уран и др. виды).

*Продукт (в энергетике)* – вырабатываемые (добываемые) и потребляемые электроэнергия, теплоэнергия, топливо.

*Топливо* – вещества, которые могут быть использованы в хозяйственной деятельности для получения тепловой энергии, выделяющейся при его сгорании<sup>5</sup>.

*Ландшафт* – территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных или природных и антропогенных компонентов и комплексов более низкого таксономического ранга. Основные составные части ландшафта представлены фрагментами отдельных сфер географической оболочки<sup>6</sup>.

*Выброс* – поступление в окружающую среду (воду, атмосферу) загрязняющих веществ от промышленных или сельскохозяйственных предприятий. Различают выбросы от отдельных источников и суммарные выбросы от нескольких предприятий территории. Выбросы нормируются показателем предельно допустимого выброса.

*Отходы* – остатки продуктов или дополнительный продукт, образующиеся в процессе или по завершении определенной деятельности и не используемые в непосредственной связи с этой деятельностью<sup>7</sup>.

### 3 Онтологический инжиниринг предметной области

Проблема онтологического инжиниринга разных ПрО рассматривается как в российских, например, [15-18], так и в зарубежных работах [19-23].

В рамках реализации проекта по разработке методов и технологий для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона предполагается разработка Web-ориентированной информационной системы, которая интегрирует математические и семантические методы и инструментальные средства оценки такого влияния, а также базу знаний и геоинформационную систему [14]. Выполнение онтологического инжиниринга обусловлено необходимостью формализации знаний как для построения баз данных и баз знаний, так и для реализации интерфейса, включающего подсистемы описания знаний и манипулирования знаниями.

Онтологический инжиниринг, как процесс разработки системы онтологий, включает анализ реально протекающих и взаимодействующих процессов с целью выявления основных классов сущностей, их свойств, а также отношений между этими классами, определяющих их поведение и изменение в процессе взаимодействия [15-18].

---

<sup>5</sup> ГОСТ Р 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.

<sup>6</sup> ГОСТ 17.8.1.01-86 Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения.

<sup>7</sup> ГОСТ 30772-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.



В работе предполагается разработка системы онтологий в соответствии с фрактальным подходом, предполагающим введение метауровней и их дальнейшее расслоение, предусматривающее всё большую степень детализации на каждом следующем уровне (слое) [24]. Метаонтология верхнего уровня отражает наиболее общие связи между базовыми понятиями энергетики и геоэкологии (рисунок 1). На рисунке показано, что непосредственное влияние на природную среду оказывают антропогенные факторы, создаваемые производственным процессом энергетической отрасли.

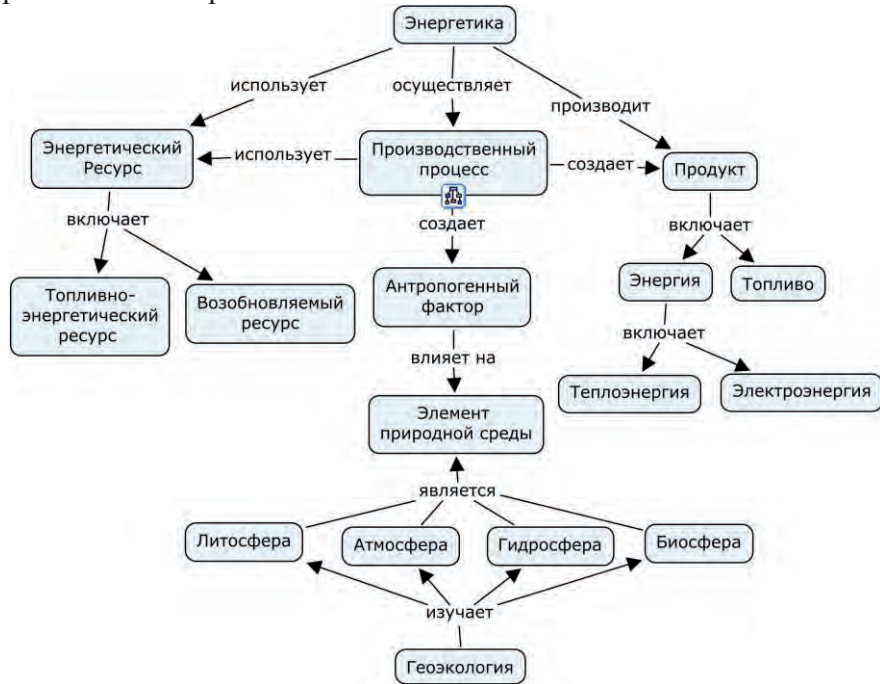


Рисунок 1 – Метаонтология взаимосвязей энергетики и геоэкологии

Сложный производственный процесс в энергетике включает несколько этапов (добыча, транспортировка, переработка топлива, преобразование топлива в энергию, транспортировка энергии), результатом которых являются основные энергетические продукты (рисунок 2).

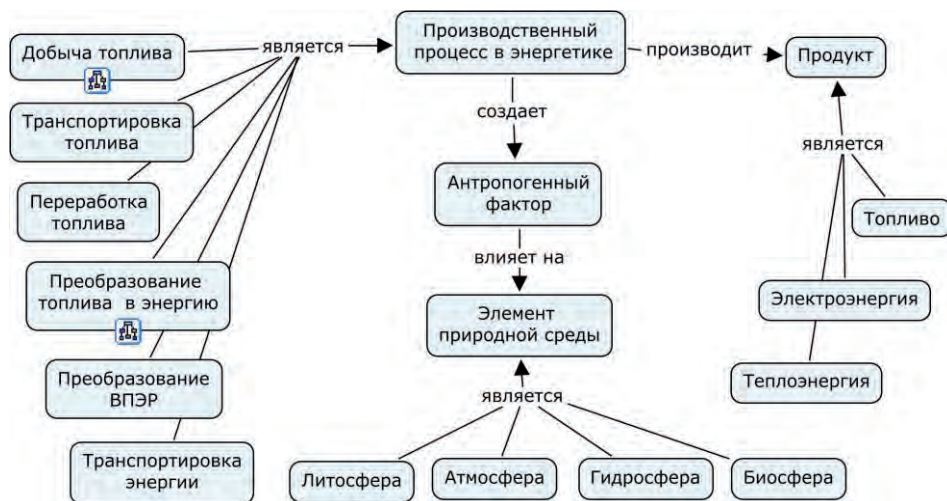


Рисунок 2 – Онтология производственного процесса в энергетике

На разных этапах производственного процесса в энергетике формируются различные антропогенные факторы. Например, добыча топлива приводит к нарушению ландшафта, изъяс-

тию территории, образованию отходов в больших количествах, создаёт выбросы в атмосферу (рисунок 3). На этапе преобразования топлива в энергию основными антропогенными факторами являются отходы, такие как зола и шлак, и выбросы, включающие твёрдые частицы и газообразные вещества (рисунок 4).

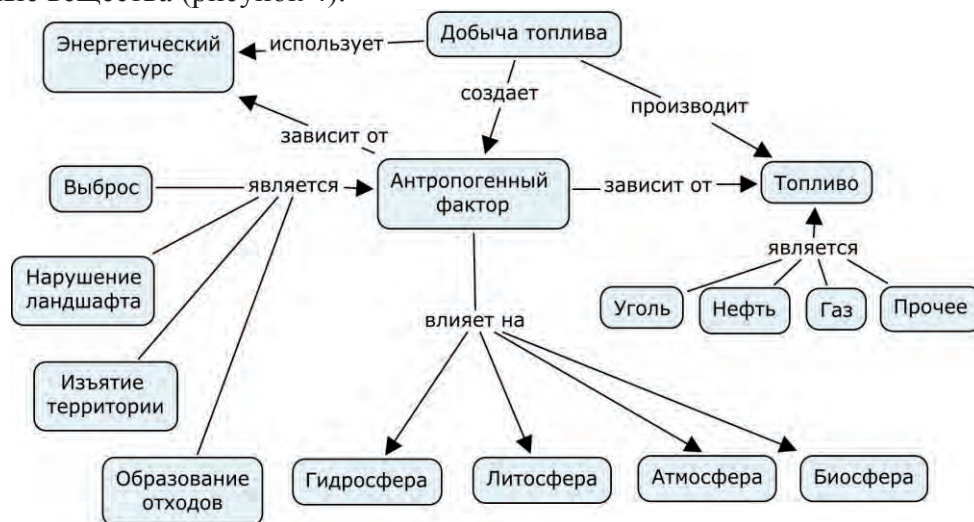


Рисунок 3 – Онтология этапа добычи топлива

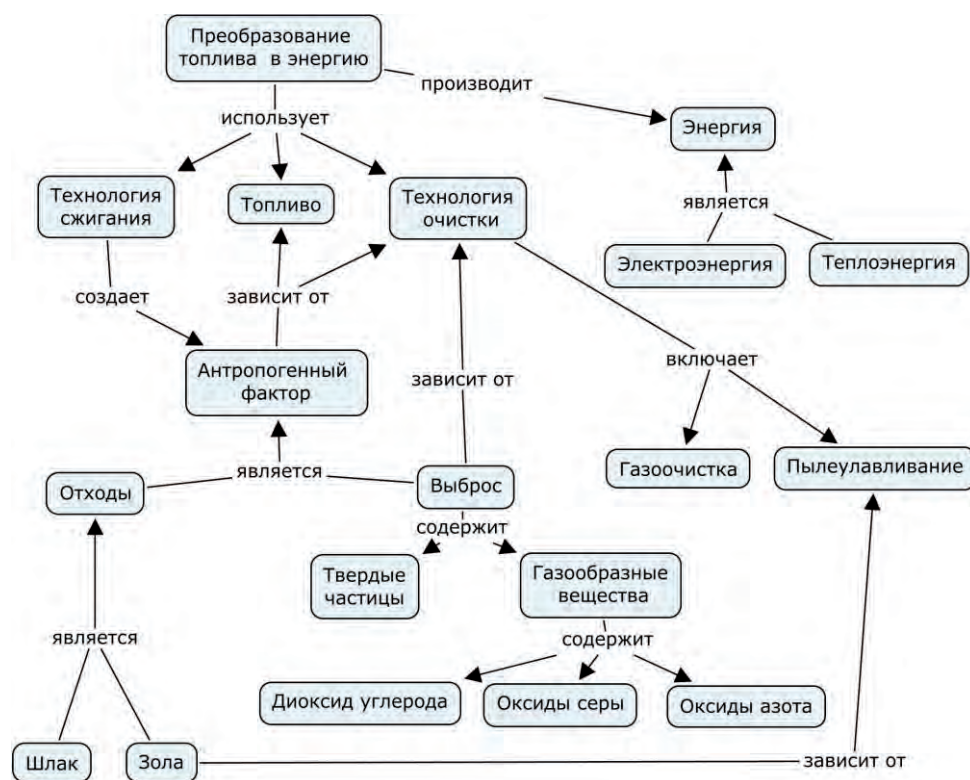


Рисунок 4 – Онтология процесса преобразования топлива

Приведённые примеры онтологий являются лишь частью системы онтологий, которые используются для формирования баз данных и знаний, интеграции информации и её совместной обработки. В этом случае онтологии рассматриваются как прообраз инфологической модели данных (модель «сущность-связь») [25]. Иначе говоря, онтологические модели преобразуются в инфологические модели данных, на основе которых проектируются базы дан-

ных (БД) и базы знаний (БЗ) [26]. Описания данных и знаний помещаются в соответствующие БД и БЗ, а операторы манипулирования данными и знаниями реализуются в первом случае – средствами систем управления базами данных, а во втором – машиной вывода или специальным языком управления знаниями [14].

## **Заключение**

В статье представлены результаты этапа исследований по реализации международного проекта, связанного с работой по формированию подсистем описания данных и знаний и манипулирования ими при разработке интерфейса Web-ориентированной информационной системы. Рассмотрены проблемы, изучаемые геоэкологией, и продемонстрированы основные взаимосвязи этой науки с энергетикой, которая на разных этапах своего производственного процесса формирует антропогенные факторы, влияющие на элементы природной среды, исследуемые геоэкологией. Выполнен онтологический инжиниринг ПрО и представлены примеры онтологий, отражающие взаимосвязи основных базовых понятий из области геоэкологии и энергетики. Предлагается учитывать требования геоэкологии к снижению негативного влияния энергетики, используя понятие «качество жизни» [14].

## **Благодарности**

Работа выполняется в рамках Международного проекта «Методы и технологии оценки влияния энергетики на геоэкологию региона» при финансовой поддержке фонда Евразийской Ассоциации поддержки научных исследований (ЕАПИ), грантов РФФИ № 18-57-81001, № 16-07-00474 и № 16-07-00569. Авторы выражают благодарность этим фондам.

## **Список источников**

- [1] Геоэкология // Геологический словарь [в 3 т.] / Гл. ред. О. В. Петров. 3-е изд., перераб. и доп. СПб: ВСЕГЕИ. 2010. Т.1. А-Й. - С.244. ISBN 978-5-93761-171-0.
- [2] Геоэкология // Экологическая энциклопедия: В 6 т. / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Изд-во «Энциклопедия». 2010. Т.2. Г-И. - С.22.
- [3] *Голубев, Г.Н.* Геоэкология / Г.Н. Голубев. – М.: Геос, 1999. – 338 с.
- [4] *Дмитриев, В.В.* Прикладная экология / В.В. Дмитриев, А.И. Жиров, А.Н. Ласточкин. – М.: Академия, 2008. – 608 с.
- [5] *Осипов, В.И.* Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер / В.И. Осипов // Геоэкология. 1993. – № 1. – С. 4-18.
- [6] Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ / Отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2010. – 686 с.
- [7] *Павлова, З.Х.* Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях нестационарности технологических параметров / З.Х. Павлова, Х.А. Азметов, Н.Х. Абдрахманов, А.Д. Павлова // Известия ТПУ, 2018. – №329 (1). – С.132-139.
- [8] *Осипова, Н.А.* Влияние угледобывающих предприятий на загрязнение снегового покрова прилегающих урбанизированных территорий (на примере г. Междуреченск) / Н.А. Осипова, А.А. Быков., А.В. Таловская, А.Н. Николаенко, Е.Г. Язиков, С.А. Ларин // Известия ТПУ, 2017. – №328 (12). – С. 36-46.
- [9] Energy, Climate Change, Environment/ International Energy Agency, 2016. – 133 p.
- [10] *К. Pavlickova , А. Miklosovicova, М. Vyskupova .* Effects of Sustainable Energy Facilities on Landscape: A Case Study of Slovakia // Designing Low Carbon Societies in Landscapes, Ecological Research Monographs, Chapter 7. Eds. N. Nakagoshi and J.A. Mabuhay, © Springer Japan, 2014.- P.109-127. DOI 10.1007/978-4-431-54819-5\_7.
- [11] *Hussey, K.* The Energy–Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future / K. Hussey, J. Pittock // Ecology and Society 17(1): 31. 2012. - <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04641-170131>.
- [12] *Санеев, Б.Г.* Учет региональных особенностей в методах оценки воздействия энергетики на природную среду / Б.Г. Санеев, Е.П. Майсюк, И.Ю. Иванова // Известия РАН. Энергетика. - 2016. - №6. - С.79-85.



- [13] **Майсюк, Е.П.** Роль энергетики в экологическом состоянии Байкальской природной территории / Е.П. Майсюк // География и природные ресурсы. - 2017. - № 1. - С.100-107. DOI:10.21782/GiPR0206-1619-2017-1(100-107).
- [14] **Массель, Л.В.** Проблема оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: постановка и пути решения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2018. - №2 (10). - С. 5-21. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-01
- [15] **Гаврилова, Т.А.** Онтологический инжиниринг / Т.А. Гаврилова // Технологии менеджмента знаний. - [http://www.kmtec.ru/publications/library/authors/ontolog\\_engineering.shtml](http://www.kmtec.ru/publications/library/authors/ontolog_engineering.shtml).
- [16] **Черняховская, Л.Р.** Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга / Л.Р. Черняховская, Н.И. Федорова // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды, 2015. - Т. 3. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН. - С. 166 - 174.
- [17] **Массель, Л.В.** Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике / Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова, Н.И. Пяткова // Онтология проектирования. - 2017. - Том. 7. - №1 (23).. - С. 66-76. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [18] **Массель, Л.В.** Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения / Л.В. Массель // Онтология проектирования. - 2016. - №2(20). - С. 149-161. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.
- [19] **Ceccaroni L.** WaWO – An ontology embedded into an environmental decision-support system for wastewater treatment plant management / L. Ceccaroni, U. Cortés, M. Sánchez-Marré // In Proceedings of ECAI2000 – Wo9: Applications of ontologies and problem-solving methods. – Berlin, Germany, 2000. – P. 2.1-2.9
- [20] **Cuena J.** (Editor). Knowledge Engineering and Agent Technology. IOS. – 2000.
- [21] **De Leenheer P.** Context dependency management in ontology engineering: A formal approach, / P. De Leenheer, A. de Moor, R. Meersman // J. Data Semantics (8). – 2007. – P.26–56.
- [22] **De Moor A.** DOGMA-MESS: A meaning evolution support system for interorganizational ontology engineering / A. De Moor, P. De Leenheer, R. Meersman // 14th International Conference on Conceptual Structures, ICCS of Lecture Notes in Computer Science, Springer (4068). – 2006. – P.189–202.
- [23] **Suarez-Figueroa, M.C.** (Eds.). Ontology engineering in a networked world / M.C. Suarez-Figueroa, A. Gomez-Perez, E. Motta, A. Gangemi. – Springer Science & Business Media, 2012.
- [24] **Массель, Л.В.** Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике / Л.В. Массель, А.Г. Массель, Т.Н. Ворожцова, Н.Н. Макагонова // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания, онтологии, теории» (ЗОИТ-2015). Т. 2. – 2015. – Новосибирск: ИМ СО РАН. – С.36-43.
- [25] Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных, 8-е изд. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2005.- 1328 с.
- [26] **Массель Л.В.** Отображения информационных объектов и предлагаемый способ их поддержки // В кн.: «Информационная технология исследований развития энергетики» / Л.Д. Криворуцкий, Л.В. Массель. – «Наука». Сиб. Изд. Фирма РАН, 1995. – С.62-67.
- 

## ONTOLOGICAL ASPECTS OF ENERGY AND GEOECOLOGY RELATIONSHIP RESEARCH

**L.V. Massel<sup>1</sup>, I.U. Ivanova<sup>2</sup>, T.N. Vorozhtsova<sup>3</sup>, E.P. Maysyuk<sup>4</sup>, A.K. Izhbuldin<sup>5</sup>, T.G. Zorina<sup>6</sup>, A.R. Barseghyan<sup>7</sup>**

*Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>1</sup>*massel@isem.irk.ru*, <sup>2</sup>*nord@isem.irk.ru*, <sup>3</sup>*tnn@isem.irk.ru*, <sup>4</sup>*maysyuk@isem.irk.ru*, <sup>5</sup>*izhbuldin@isem.irk.ru*

<sup>6</sup>*Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, tanyazorina@tut.by*

<sup>7</sup>*Engineering Academy of Armenia, Yerevan, Armenia, razmik.barseghyan@gmail.com*

### Abstract

The article presents an approach to solving the assessing problem of the energy impact on the geoecology of region. The work is carried out within the framework of an international project jointly with researchers from Belarus and Armenia with the support of the EAPI-RFFI funds. Some basic concepts of a new interdisciplinary field of research - geoecology, whose main task is to study the state of life-supporting resources under the influence of natural and anthropogenic factors are considered. The impact of energy as one of the main anthropogenic factors is obvious and requires special research, including from the point of view of the interrelation of the basic concepts. In order to take into account



the requirements of geoecology to energy, related to the need to preserve a productive natural environment for present and future generations of people, it is proposed to use the concept of “quality of life”. Definitions of the basic concepts of geoecology, related to studies of the impact of energy on the geoecology of the region, are given. Examples of ontologies reflecting the main interrelationships of energy and geoecology are given. For clarity, ontologies are presented in a graphical form, executed using the toolkit CmapTools

**Keywords:** *geoecology, energetics, anthropogenous factor, life-supporting resource, natural factor, ontology, ontological engineering, knowledge base.*

**Citation:** *Massel, LV, Ivanova IU, Vorozhtsova TN, Maysuyk EP, Izhbuldin AK, Zorina TG, Barseghyan AR. Ontological aspects of investigation of energy and geoecology relationship [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(4): 550-561. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561.*

## Acknowledgment

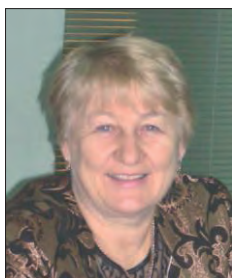
The work is carried out within the framework of the International Project "Methods and technologies for assessing the impact of energy on the ecology of the region" with the financial support of the RFBR grant № 18-57-81001, and the Eurasian Association for the Support of Scientific Research (EAPI).

## References

- [1] Geoecology [In Russian]. Geological Dictionary [in 3 volumes] / Ch. Ed. O.V. Petrov. 3rd ed., Revised. and additional. St. Petersburg: VSEGEI. – 2010. – V. 1. A-I. - P.244. ISBN 978-5-93761-171-0.
- [2] Geoecology [In Russian]. Ecological Encyclopedia: [In 6 volumes] / Ch. Ed. V.I. Danilov-Danilyan. Moscow: OOO "Izdatelstvo Encyclopedia ", 2010. - V. 2. G-I. - P.22.
- [3] **Golubev GN.** Geoecology [In Russian]. – Moscow: Geos, 1999. – 338 p.
- [4] **Dmitriev VV, ZHirov AI, Lastochkin AN.** Applied ecology [In Russian]. - Moscow: Academy, 2008. – 608 p.
- [5] **Osipov VI.** Geoecology – interdisciplinary science on environmental issues of the geosphere [In Russian]. Geoecology, 1993; 1: 4-18.
- [6] System research in power engineering: Retrospective of scientific directions SEI–ISEM [In Russian]. Chief editor. N.I. Voropai. – Novosibirsk: Science, 2010. – 686 p.
- [7] **Pavlova ZH, Ahmetov HA, Abdrahmanov NH, Pavlova AD.** Assessment and safety of oil and gas pipelines operation in the unsteady technological parameters [In Russian]. Izvestiya TPU, 2018; 329(1): 132-139.
- [8] **Osipova NA, Bykov AA, Talovskaya AV, Nikolaenko AN, Yazikov EG, Larin SA.** The influence of coal mining enterprises on the pollution of the snow cover of adjacent urban areas (for example, Mezhdurechensk) [In Russian]. Izvestiya TPU, 2017; 328 (12): 36-46.
- [9] Energy, Climate Change, Environment/ International Energy Agency. 2016. – 133 p.
- [10] **Pavlickova K, Miklosovicova A, Vyskupova M.** Effects of Sustainable Energy Facilities on Landscape: A Case Study of Slovakia // Designing Low Carbon Societies in Landscapes, Ecological Research Monographs, Chapter 7. Eds. N. Nakagoshi and J.A. Mabuhay, © Springer Japan, 2014. – P.109-127. DOI 10.1007/978-4-431-54819-5\_7.
- [11] **Hussey K, Pittock J.** The Energy–Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future. Ecology and Society 17(1): 31. 2012. - <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04641-170131>.
- [12] **Saneev BG, Maisyuk EP, Ivanova IYu.** Consideration of regional peculiarities in the methods of assessing the impact of energy on the natural environment [In Russian]. News of the Academy of Sciences. Energy. – 2016; 6: 79-85.
- [13] **Maisyuk EP.** The role of energy in the ecological state of the Baikal natural territory [In Russian]. Geography and natural resources. – 2017; 1: 100-107. - DOI: 10.21782 / GiPR0206-1619-2017-1 (100-107).
- [14] **Massel LV.** The problem of the impact assesment of energy on the geoecology of the region: setting and solutions [In Russian]. Information and mathematical technologies in science and management. – 2018; 2(10): 5-21. - DOI: 10.25729/2413-0133-2018-2-01.
- [15] **Gavrilova TA.** Ontological engineering. Electronic resource. Technologies of knowledge management [In Russian]. Rezhim dostupa: [http://www.kmtec.ru/publications/library/authors/ontolog\\_engeneering.shtml](http://www.kmtec.ru/publications/library/authors/ontolog_engeneering.shtml).
- [16] **Chernyahovskaya LR, Fedorova NI.** The situational approach to the management of the interaction of complex processes based on ontological engineering [In Russian]. XX Baikal All-Russian Conference « Information and mathematical technologies in science and management»: proceedings. – 2015; 3: 166-174.

- [17] *Massel LV, Massel AG, Vorozhtsova TN, Makagonova NN*. Ontological engineering of situational management in the energy sector [In Russian]. Materials of the All-Russian conference with international participation "Knowledge, ontology, theory» (ZONT-2015), 2015. V. 2. – Novosibirsk: IM SB RAS. – P.36-43.
- [18] *Massel LV, Vorozhtsova TN, Pyatkova NI*. Ontological engineering to support strategic decision-making in the energy sector [In Russian]. Ontology of designing. – 2017; 7(1): 66-76. – DOI: 10.18287 / 2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [19] *Ceccaroni L, Cortés U, Sánchez-Marré M*. WaWO – An ontology embedded into an environmental decision-support system for wastewater treatment plant management. In Proceedings of ECAI2000 — Wo9: Applications of ontologies and problem-solving methods. — Berlin, Germany, 2000. – P. 2.1-2.9.
- [20] *Cuena J*. (Editor). Knowledge Engineering and Agent Technology. IOS. – 2000.
- [21] *De Leenheer P, de Moor A, Meersman R*. Context dependency management in ontology engineering: A formal approach, J. Data Semantics (8). – 2007. – P.26–56.
- [22] *De Moor A, De Leenheer P, Meersman R*. DOGMA-MESS: A meaning evolution support system for interorganizational ontology engineering, in: 14th International Conference on Conceptual Structures, ICCS of Lecture Notes in Computer Science, Springer (4068). – 2006. – P.189-202.
- [23] *Suarez-Figueroa MC, Gomez-Perez A, Motta E, Gangemi A*. (Eds.). Ontology engineering in a networked world. – Springer Science & Business Media, 2012.
- [24] *Date C.J*. Introduction to database systems, 8th ed. M: Ed. House "Williams", 2005. - 1328 p.
- [25] *Massel LV, Krivorutsky LD*. The mapping of information objects and the proposed method of their support [In Russian] // In the book: "Information technology of the energy development research" - "The Science". Sib. Ed. Firm of RAS, 1995. – P.62-67.
- [26] *Massel LV*. Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application [In Russian]. Ontology of designing. – 2016; 6(2): 149-161. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.

## Сведения об авторах



*Массель Людмила Васильевна*, 1949 г. рождения. Окончила Томский политехнический институт, факультет автоматизации и вычислительной техники по специальности «Прикладная математика» (1971). Доктор технических наук (1995), профессор (1999). Главный научный сотрудник, зав. лабораторией информационных технологий Института систем энергетики (ИСЭМ) им. Л.А. Мелентьева СО РАН, профессор кафедры «Автоматизированные системы» Института высоких технологий Иркутского национального технического университета. В списке научных трудов более 220 статей в области семантического моделирования, проектирования информационных систем и технологий, разработки систем интеллектуальной поддержки принятия решений в области энергетики.

*Liudmila Vasilievna Massel* (b. 1949) graduated from the Tomsk Polytechnic Institute, Faculty of Automation and Computer Engineering in the specialty "Applied Mathematics" in 1971, Doctor of Technical Sciences (1995), professor (1999). Chief Researcher, Head of Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute (ESI) SB RAS. Professor of Automated Systems Department of the High Technologies Institute in the Irkutsk National Research Technical University. The list of scientific works includes more than 220 articles in the field of semantic modeling, design of information systems and technologies, and the development of intelligent decision support systems in the field of energy solutions.



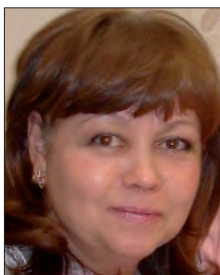
*Иванова Ирина Юрьевна*, 1959 г. рождения, к.э.н., зав. лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей, ИСЭМ СО РАН. Победитель областного конкурса в области науки и техники. Образование: факультет кибернетики Иркутского политехнического института по двум специальностям: "Автоматизированное управление" и "Большие энергетические системы" (1981). Область научных исследований: малая энергетика, политика энергообеспечения потребителей в северных и отдаленных районах, моделирование финансово-хозяйственной деятельности автономных источников энергии. Имеет более 150 публикаций, включая главы и разделы в 25 коллективных монографиях.

*Irina Yurievna Ivanova* (b. 1959), PhD in economics, Head of the Laboratory of Energy Supply to Off-grid Consumers, ESI SB RAS. The winner of the regional competition in the field of science and technology. Education: Cybernetic faculty of the Irkutsk Polytechnic Institute with two specializations: in Computer-aided Management and Large Energy Systems (1981). Research area: small-scale energy, the policy of energy supply to consumers in the northern and remote areas, modeling of financial and economic activities of autonomous energy sources. Publications: more than 150 publications including chapters and sections in 25 collective monographs.



**Ворожцова Татьяна Николаевна**, 1952 г. рождения, к.т.н. (2008). Окончила Иркутский институт народного хозяйства (ИИНХ, ныне Байкальский государственный университет – БГУ) (1975). Ведущий инженер лаборатории информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН. В списке научных трудов более 30 работ в области автоматизации научных исследований, проектирования и программирования.

**Tatyana Nikolayevna Vorozhtsova** (b.1952) graduated from the Irkutsk Institute of National Economy (1975). Leading engineer of laboratory of information technologies in the energy sector of the ESI SB RAS. Author and co-author more 30 scientific articles in the field of automation of scientific research, design, and programming.



**Майсюк Елена Петровна** (1967 г.р.), к.э.н. (2002), старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН. В 1989 г. окончила Иркутский политехнический институт (энергетический факультет) по специальности инженер-теплоэнергетик. Область научных интересов связана с исследованиями экологических проблем в энергетике Восточной Сибири и Дальнего Востока. Является автором и соавтором более чем 85 публикаций, в том числе глав 20 коллективных монографий.

**Elena Petrovna Maysuyk** (b. 1967), PhD in economics (2002), Senior Researcher of the Laboratory of energy supply to off-grid consumers, Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk. Education: Energy faculty of the Irkutsk Polytechnic Institute with specialization on Heat power plants (1989). Research area: environmental issues of energy systems development in East

Siberia and the Far East. Publications: more than 85 as the author and co-author, including chapters and sections in 20 collective monographs.



**Ижбулдин Александр Константинович** (1978 г.р.), ведущий специалист лаборатории энергоснабжения децентрализованных потребителей, ИСЭМ СО РАН. Образование: Иркутская государственная экономическая академия (2000), в настоящее время Байкальский государственный университет. Область научных интересов: разработка подходов, методов и моделей для технико-экономического обоснования схем энергоснабжения потребителей, использования альтернативных видов топлива в северных и отдаленных районах, а также на особо охраняемых природных территориях. Имеет более 30 публикаций.

**Alexander Konstantinovich Izhubldin** (b. 1978) - Lead specialist of the Laboratory of energy supply to off-grid consumers, ESI SB RAS. Education: Irkutsk State Economic Academy (2000), nowadays Baikal State University. Research area: development of approaches, methods

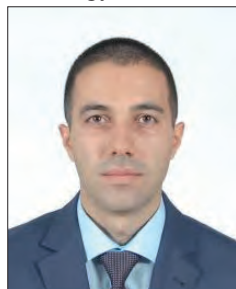
and models of feasibility study of power supply schemes of consumers, the use of alternative fuels in the Northern and remote areas, as well as in specially protected natural areas. Publications: more than 30 publications.



**Зорина Татьяна Геннадьевна**, 1973 г.р. В 1996 году окончила Белорусский государственный экономический университет (БГЭУ). В 2007 году защитила кандидатскую, а в 2017 докторскую диссертации по специальности экономика и управление народным хозяйством. В настоящее время - главный научный сотрудник Института энергетики Национальной академии наук Беларуси, зав. кафедрой экономики предпринимательства и права БГЭУ. Сфера научных интересов - экономика энергетики, устойчивое развитие, логистика и маркетинг.

**Tatsiana G. Zoryna** (b. 1973). Graduated from Belarusian State Economic University (BSEU) in 1996. Received the PhD degree in Economics and National Economy Management from BSEU in 2007 and Doctor Habilitatus in 2017. Chief researcher in the Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Belarus, Chair of Business Economics and Law in BSEU. Her current interests

are energy economics, sustainable development, logistics and marketing.



**Барсегян Артак Размикович** (1981 г.р.), кандидат наук, автор более 60 научных работ. Представляет Республику Армения (РА) в руководящем совете научно-технологической организации НАТО, работал в качестве главного эксперта в Администрации Президента РА, действительный член Инженерной академии Армении, лауреат Американского фонда гражданских исследований и развития, обладатель почетной медали Инженерной академии Армении, Государственного комитета по науке при Министерстве образования и науки РА, а также ряда международных и местных наград, премий, грамот и дипломов.

**Dr. Artak Barseghyan** (b. 1981) is representing Republic of Armenia at NATO Science & Technology Board. He was Chief Expert at the Office of the President of Armenia (about 10 years). Dr. Barseghyan is a Full member of the International Academy of Engineering.

Scientific Committee Member, Invited lecturer, Key Speaker, Expert in events by UN, NATO, ICANN, CISCO, COE, etc. More than 60 publications.



УДК 821.161.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИНОСИСТЕМЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А.С. Зайцева<sup>1</sup>, Ю.В. Сложеникина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, Московская обл., Россия  
a.zaitseva@yahoo.com

<sup>2</sup> Московский городской педагогический университет (Самарский филиал), Самара, Россия  
goldword@mail.ru

### Аннотация

Статья посвящена моделированию терминосистемы чрезвычайных ситуаций (ЧС). В ходе исследования решались задачи лингвистического описания терминов ЧС, лексико-семантического анализа терминов ЧС, структурирования и систематизации терминов ЧС на основе принципов идеографической и таксономической классификации. Лексический корпус исследования составили около 3000 терминов ЧС, содержащихся в нормативно-правовых документах и специальной литературе. На основе использования системного подхода выявлены базовые категории, формирующие взаимосвязанную и взаимообусловленную терминосистему ЧС. Предложена модель терминосистемы ЧС, которая описывает в терминах основные понятия современной деятельности, связанной с ЧС, создаёт возможности для её расширения и совершенствования. Определены области практического применения предложенной модели: коррекция существующих и создание новых тематических словарей, например, тезауруса ЧС; структурирование изучаемой терминологии в образовательном процессе подготовки специалистов по ЧС; решение практических задач в области специального научно-технического перевода; расширение средств компьютерной лингвистики при анализе и синтезе речи в информационных системах реагирования на ЧС; совершенствование алгоритмов машинного обучения информационных систем реагирования на ЧС с использованием искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** моделирование, термин, терминология, лексико-семантическая группа, чрезвычайная ситуация, идеографическая классификация, тезаурус.

**Цитирование:** Зайцева, А.С. Моделирование терминосистемы чрезвычайных ситуаций / А.С. Зайцева, Ю.В. Сложеникина // Онтология проектирования – 2018. – Т. 8, №4(30). - С.562-570. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-562-570.

### Введение

В работе используется следующее определение терминосистемы: «Терминологическая система (терминосистема) – знаковая модель определённой теории специальной области знаний или деятельности; элементами терминосистемы служат лексические единицы (слова и словосочетания) определённого языка для специальных целей какого-либо естественного языка, а структура в целом адекватна структуре системы понятий данной теории» [1]. Такое понимание терминосистемы позволяет ставить вопрос о возможности моделирования терминосистемы отдельной профессиональной области деятельности, в частности – деятельности, связанной с предупреждением и ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Цель исследования - создание модели терминосистемы ЧС. В ходе исследования рассмотрены задачи лингвистического описания, лексико-семантического анализа, структурирования и систематизации терминов ЧС на основе принципов идеографической и таксономической классификации.



Материалом для исследования послужили около 3000 терминов ЧС, содержащихся в отраслевых нормативно-правовых документах (ГОСТах) и специальной литературе. В качестве одного из основных источников для исследования использовался энциклопедический словарь «Гражданская защита» [2], который является наиболее авторитетным источником, регламентирующим терминологию ЧС. Принимая во внимание обширную нормативно-правовую базу, в исследовании были учтены общие положения ряда федеральных законов в области гражданской защиты [3-5], а также российских и международных стандартов [6-10].

## 1 Методы исследования

Системный подход стал основой для исследования терминологии ЧС. Описание специальной лексики с данных позиций позволяет представить её как целостное системно-структурное единство, организованное на общих структурно-семантических и системно-функциональных основаниях. Данный подход позволяет выявить базовые категории, организующие вокруг себя идеографические группы, в совокупности формирующие взаимосвязанную и взаимообусловленную терминосистему ЧС. Терминология ЧС предопределена экстралингвистическим фактором – зависимостью лексики от системы понятий. Иерархическая понятийная сетка обуславливает место, связи и отношения каждого термина в лексической системе.

Исследование собранного языкового материала на различных этапах работы осуществлялось с использованием следующих методов:

- на подготовительном этапе – метод сплошной выборки, метод изучения литературы;
- на этапе моделирования лексико-семантической структуры терминологии ЧС – метод семного анализа слов, метод анализа словарных дефиниций, оппозиционный и структурный методы;
- на этапе выявления специфики терминологии новейшего времени – когнитивный, функциональный, словообразовательный методы.

Поскольку лексемы терминологического поля характеризуются, с одной стороны, взаимозависимостью и взаимоопределяемостью семантики, а с другой – непрерывностью обозначения смыслового пространства, постольку интегральные семы, образующие ту или иную лексико-семантическую группу (ЛСГ), могут становиться дифференциальными в структуре терминов сопредельных групп. Таким образом реализуется семантическая корреляция между единицами одной профессиональной совокупности языковых единиц. Проанализированный материал подтвердил идею о взаимодействии и логико-языковых отношениях терминов внутри терминосистемы. Система построения терминологии ЧС отражает логику конкретной профессиональной деятельности: одно и то же обозначение может быть родовым базовым термином или видовым, зависимым элементом в полилексемном термине.

Для дефинирования терминов ЧС привлекаются актуальные для данного терминопольа дифференциальные семы: объект, субъект, причинность (следствие, источник), порядок (соединение, объединение, оценка, соответствие правилу), время, пространство, количество (оценка количества, параметры), отношение (условие, сравнение), качество, способ (метод, образ действия), существование, бытие (событие, факт), движение (перемещение), изменение, конкретная деятельность и др.

## 2 Моделирование терминологического поля ЧС

Под идеографией понимается теория и практика составления словарей, в которых слова располагаются не по алфавиту, а по смысловой близости [11]. Идеографическое описание

позволяет продемонстрировать логические связи между понятиями и терминами исследуемой предметной области (ПрО) [12]. Основным типом понятийных связей терминов является иерархический (например, род – вид, часть – целое и др.). Родовидовые отношения могут охватывать значительные группы терминов. Классификация терминов, основанная на отношениях «род – вид», позволяет выделить базовые понятия в каждой ПрО, сгруппировать вокруг них подчиненные понятия и создать общую классификационную схему понятий [13].

На основе двух взаимодополняющих операций: дедуктивного разбиения понятийного континуума, покрываемого лексикой русского языка, и индуктивного «восхождения» от отдельных слов к выделенным дедуктивным методом рубрикам, коллектив авторов под руководством В.В. Морковкина определил и корректно представил лексическое ядро современного русского литературного языка, сделав явными системные связи каждой лексико-семантической единицы, входящей в это ядро [14]. Созданный авторами инструмент применим для практического моделирования не только лексической системы русского языка, но и для моделирования терминологической системы. Используя предложенный в [14] синопсис, в ходе исследования была создана модель терминологического поля деятельности, связанной с предупреждением и ликвидацией последствий ЧС.

Специальная лексика ЧС образует терминологическое поле (ТП), под которым понимается совокупность специальных лексем, соотнесённых с экстралингвистическим феноменом – государственным институтом гражданской защиты населения, окружающей среды и объектов инфраструктуры в ЧС. Для ТП ЧС как определённого профессионального дискурса характерен специфический набор ключевых смыслов, определяющий его структурирование на ЛСГ. Схема организации терминологического поля ЧС в форме многоуровневой идеографической структуры показана на рисунке 1.

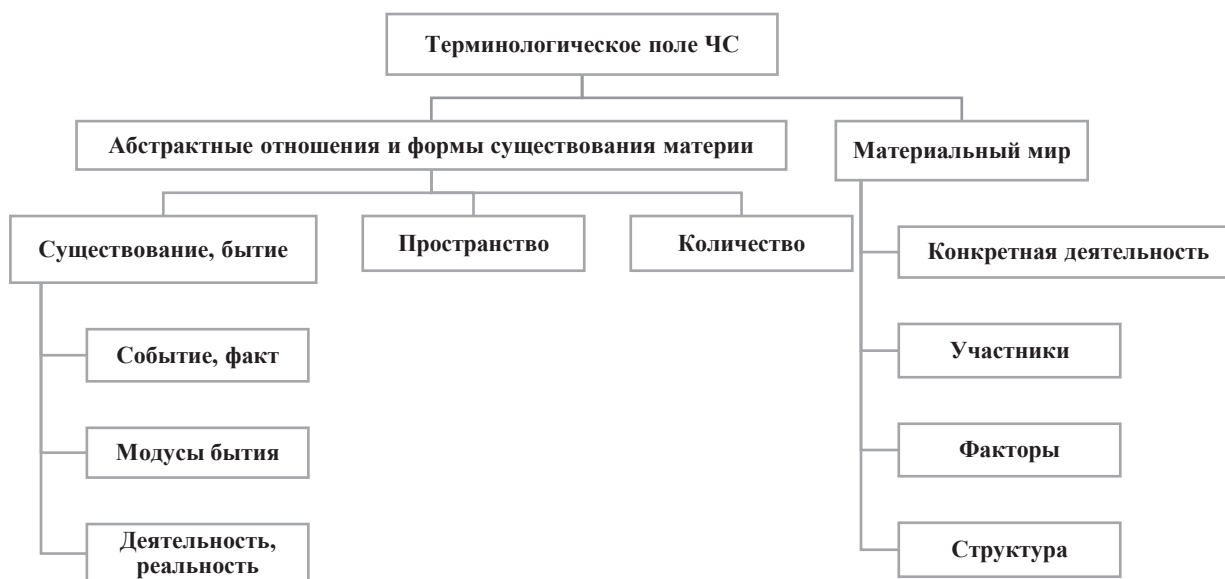


Рисунок 1 – Схема организации терминологического поля ЧС

## 2.1 Базовые ЛСГ

Для терминологического поля ЧС как определённого профессионального дискурса характерен специфический набор ключевых смыслов, определяющий его структурирование на ЛСГ. Так, в ЛСГ «Событие, факт» референтами этого смысла являются *происшествие, авария, бедствие, взрыв, выброс, катастрофа, облучение, поражение, удар, травма*, и др.; в

ЛСГ «Модусы бытия» прежде всего *опасность, безопасность*; в ЛСГ «Действительность, реальность» – *ситуация, положение, условия, обстановка, кризис, режим, система, состояние*, и др.; в ЛСГ «Пространство» – *зона, очаг, среда, район, территория, сфера, поле*; в ЛСГ «Количество» – *доза, коэффициент, концентрация, критерий, шкала, мощность, норма, номер, параметр, показатель, предел, степень, уровень*; в ЛСГ «Конкретная деятельность» – *восстановление, защита, ликвидация, локализация, мониторинг, надзор и контроль, обеспечение, организация, охрана, подготовка, прогноз (прогнозирование)*, и др.; в ЛСГ «Участники» – *группировка (группа), служба, силы, организация, формирование, подразделение, взвод, отряд, часть, штаб, отделение, объединение, центр, охрана, команда, объект, пострадавший*, и др.; в ЛСГ «Факторы» – *факторы безопасности, факторы опасности*, среди последних *неисправность, уязвимость, нарушение, повреждение, дефект, отказ, ошибка*, различного рода *источники, воздействие* и др.; в ЛСГ «Средства труда» – конкретные *машины, механизмы, приборы, оружие, технологии*; в ЛСГ «Структура» – конкретные обозначения *центрального аппарата, территориальных органов, учреждений и организаций*. Вышеперечисленные термины квалифицируются как базовые или ключевые.

Рассмотрим подробно одну из ЛСГ, входящих в структуру терминологического поля ЧС (см. рисунок 2).

## 2.2 ЛСГ «Событие, факт»

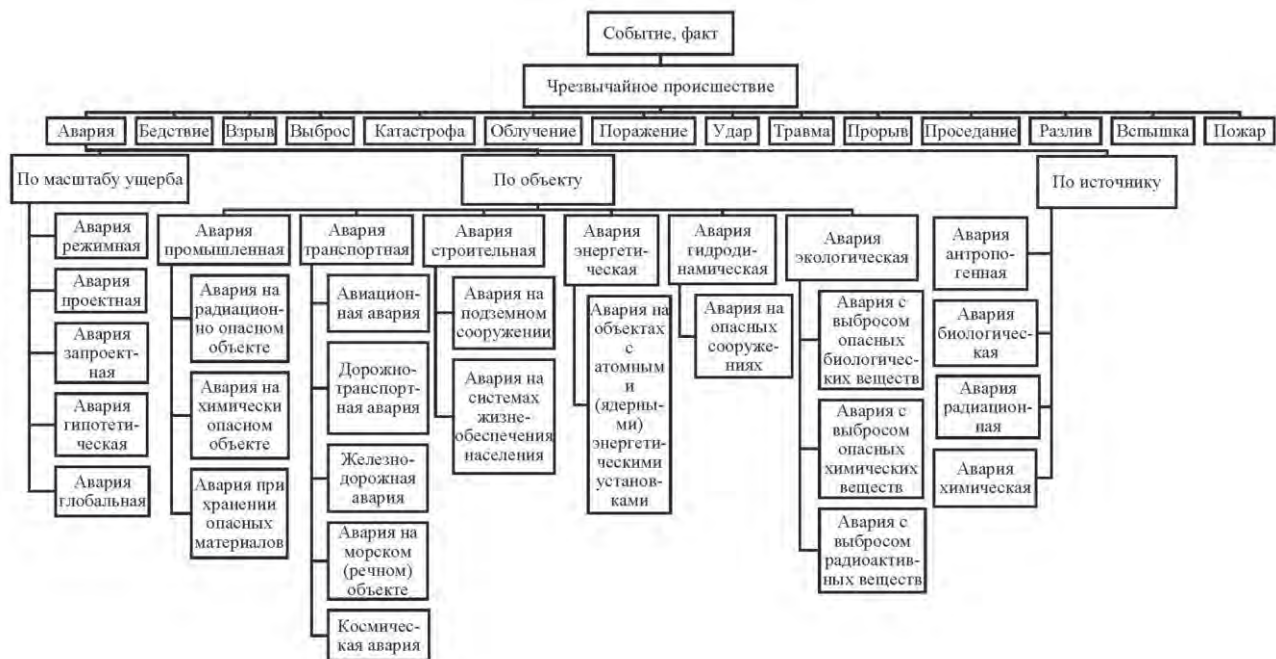


Рисунок 2 – ЛСГ «Событие, факт»

**ЛСГ «Событие, факт»**, с точки зрения таксономической классификации, в качестве интегральных включает семы: 1) абстрактные отношения и формы существования материи; 2) существование, бытие; 3) событие, факт. Это постоянный, инвариантный набор сем в значении всех составляющих данной группы. В отличие от статического положения дел, описываемого категориями действительности (реальности), события и факты подразумевает происшествие, динамику развития – то, что имеет место, наступает, происходит.

Относительно терминологии ЧС можно говорить о следующих событиях: *чрезвычайное происшествие, авария, бедствие, взрыв, выброс, катастрофа, облучение, поражение, удар,*

травма, прорыв, проседание, разлив, вспышка, пожар, и др. – это различного рода неблагоприятные факты воздействия на людей, природу, технику.

**Чрезвычайное происшествие (ЧП).** Согласно [2] ЧП – непредусмотренное, непредвиденное, неожиданное событие, повлекшее разрушение и (или) уничтожение материальных объектов и ресурсов, негативное воздействие на окружающую среду, гибель людей (несчастные случаи). К ЧП относят дорожно-транспортные происшествия, производственные происшествия, различного рода аварии (авиационные, промышленные, на морских объектах, на магистральных трубопроводах и др.).

Видно, что для дефинирования термина ЧП используются качественные прилагательные с модальной семантикой – *модусом* является невозможность предвидеть, предусмотреть, ожидать. *Следствие* ЧП – разрушение и/или уничтожение материальных объектов и ресурсов, негативное воздействие на окружающую среду, гибель людей.

Рассмотрим более подробно термин *авария* как один из видов ЧП.

Семантику термина *авария* можно представить следующим набором сем: «*фактор опасности*» – это повреждение, разрушение, «*модусы бытия*» – угроза, ущерб, опасность, нежелательность; «*объект*» – люди, здания, сооружения, оборудование, транспортные средства, производственный процесс, окружающая среда; «*событие, факт*» – взрыв, выброс, неконтролируемые происшествия; «*пространство – ограниченное пространство*» – технический объект, определенная территория, акватория; «*порядок*» – отклонение от нормы; «*количество*» – среднестатистическое значение нормы.

Остановимся более подробно на терминах – видовых обозначениях *аварий*. По семе «*количество*», то есть с точки зрения масштабов причинённого аварией ущерба, различают следующие виды *аварий*: *режимная, проектная, запроектная, гипотетическая, глобальная аварии*. Градуально эти виды аварий характеризуются возрастанием ущерба от них. У термина *проектная авария* сема «*порядок*» выражается как соответствие правилу, а сема «*количество*» – как соответствие параметрам. *Авария запроектная* по семе «*причинность – источник*» называет неучитываемый проектом фактор, а по признаку «*причинность – следствие*» – тяжёлые последствия, технологические отказы и ошибки персонала. Для *гипотетической аварии* по семе «*количество*» «устанавливаются наибольшие из возможных при *запроектных авариях* ущербов, по семе «*модусы бытия*» этот вид аварии характеризуется наиболее низкой вероятностью возникновения, по семе «*причинность – источник*» указываются неустановленные в полном объёме источники. *Глобальная авария* представляет опасность для жизнедеятельности всего человечества и связана («*причинность – источник*») с крупномасштабными воздействиями на окружающую среду [2].

По семе «*объект*», то есть в зависимости от его типа и назначения, выделяют несколько видов: *промышленная, транспортная, строительная, энергетическая, гидродинамическая авария, экологическая*. *Промышленная авария* по признаку «*причинность – следствие*» характеризуется ущербом промышленным объектам и персоналу, по семе «*причинность – источник*» – накоплением повреждений. *Транспортные аварии* по подобъекту, на котором они произошли, подразделяются на: *авиационные, дорожно-транспортные, железнодорожные, космические, морские и речные*. *Морские и речные аварии*, в результате которых произошла гибель судна, называются *кораблекрушениями*. Подобъектом *энергетической аварии* называются генерирующие, передающие, распределяющие компоненты электроэнергетических систем. Подвид *энергетической аварии* – *авария на объектах с атомными (ядерными) энергетическими установками* – по семе «*модусы бытия*» относится к категории опасных. *Гидродинамическая авария* имеет объектом гидротехническое сооружение. *Экологические аварии* сопровождаются ущербом окружающей среде из-за опасных биологических, химических, радиоактивных выбросов [2].



В целом, все вышеперечисленные по семe «объект» аварии как гипонимы можно включить в значение гиперонима *авария на опасных сооружениях*. К таковым относятся так называемые высокорисковые ответственные сооружения, их перечень см. [2].

По дифференциальному признаку «причинность – источник» выделяют *антропогенную, биологическую, радиационную, химическую аварию*. Причинами *антропогенных аварий* являются дефекты изготовления, нарушения режимов эксплуатации, ошибочные действия персонала. Для констатации *биологической аварии* важен параметр «количество» – создающее опасность для жизни и здоровья людей, животных и растений, окружающей среды. Аналогично, для *радиационной аварии* важно превышение величины, регламентированной для контролируемых условий. По семe «время» различают три фазы развития *радиационной аварии*: *раннюю, промежуточную и позднюю (восстановительную)*. *Авария химическая* представляет собой выброс опасных химических веществ [2].

По семe «неорганический мир – земная поверхность» выделяют *подземные, наземные, подводные аварии*.

**Бедствие.** Семантику термина *бедствие* можно представить таким комплексом сем: «качество – оценка качества» + «причинность – следствие» – это серьезное нарушение функционирования; «объект» – общество, «количество – оценка количества» + «причинность – следствие» – масштабные человеческие жертвы, материальный, экологический и прочий ущерб; «количество – соответствие по величине, размеру» – превышение возможностей общества справиться с *бедствием* за счёт собственных ресурсов [2].

По семe «время» *бедствия* подразделяют на *внезапные и медленно наступающие*. По семe «причинность – источник» – на *природные и антропогенные*. По признаку «объект» говорят об *экологическом бедствии*. Для его семантического описания используются семы: «качество – оценка качества» + «существование, бытие – действительность, реальность» – это ЧС; «изменение» – необратимые последствия; «объект» – окружающая среда, условия жизнедеятельности людей.

По семe «земная поверхность – водоемы» выделяют *бедствие на акватории* – опасное происшествие на воде. *Объекты бедствия на акватории* – люди, водная среда, морские (речные) объекты [2]. С точки зрения *причинности* – это техногенное происшествие.

**Катастрофа.** Для описания семантики термина *катастрофа* можно воспользоваться следующим набором сем: «качество – оценка качества» + «количество – оценка количества» + «существование, бытие – событие, факт» – это неблагоприятное крупное событие; «причинность – следствие» – разрушение, гибель, структурно-функциональное изменение, нарушение режима функционирования; «объект» – люди, общество, животные, растительный мир. По семe «количество», то есть с точки зрения масштабов причиненного *катастрофой* ущерба, различают следующие виды *катастроф*: *планетарная, глобальная, национальная, региональная, муниципальная, объектовая, локальная*.

По семe «причинность – следствие», то есть по источникам возникновения *катастрофы* делятся на «*техногенные, природные, экологические, социально-экономические, медико-биологические, военные*» [2]. С точки зрения семы «объект», выделяют *транспортные, промышленные катастрофы*.

В отличие от различного рода отказов, инцидентов и аварий, описание *катастрофы* всегда строится с помощью признака «оценка качества / количества», и её дефиниция включает соответствующие определения, как-то: *транспортная катастрофа* – крупная авария, практически полное разрушение или даже уничтожение объектов, значительный ущерб окружающей среде; *техногенная катастрофа* – чрезвычайное происшествие, неблагоприятный и неуправляемый процесс с крупными человеческими жертвами, значительным повреждением окружающей среды; *промышленная катастрофа* – крупная авария на промышленном объекте.

те, разрушение в значительных размерах, приведшее к серьезному ущербу окружающей среде. *Природным и техногенным катастрофам* противопоставлена *гуманитарная катастрофа*, имеющая объектом человека и общество [2].

## Заключение

Практическое значение представленного исследования можно сформулировать следующим образом.

- Представленная модель терминосистемы ЧС может быть использована при коррекции существующих или создании новых тематических словарей, а также при создании тезауруса МЧС с использованием ассоциативных связей. В качестве примера такого тезауруса можно привести тезаурусный словарь «Проектирование самолета» Н.М. Боргеста [15].
- Предлагаемая лексико-семантическая схема модели позволяет структурировать изучаемую терминологию в образовательном процессе подготовки специалистов МЧС с использованием специальных мобильных приложений и электронных словарей.
- Модель терминосистемы может быть использована для решения практических задач в области специального научно-технического перевода, поскольку именно логико-понятийный анализ обеспечивает правильный выбор иноязычного термина-эквивалента.
- Результаты работы могут быть использованы для расширения средств компьютерной лингвистики при анализе и синтезе речи обращающихся граждан в информационные системы реагирования на ЧС.
- Предложенный модельный подход будет полезен при совершенствовании алгоритмов машинного обучения информационных систем реагирования на ЧС с использованием искусственного интеллекта.

## Список источников

- [1] *Лейчик, В.М.* Терминоведение: Предмет, методы, структура / В.М. Лейчик. – М.: ЛИБРОКОМ, 2014. – 264 с.
- [2] *Гражданская защита: Энциклопедический словарь* / Под редакцией В.А. Пучкова. - М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. – 664 с.
- [3] Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 N 68-ФЗ - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/).
- [4] Федеральный закон «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» от 22.08.1995 N 151-ФЗ - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_7746/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7746/).
- [5] Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12.02.1998 N 28-ФЗ - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_17861/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17861/).
- [6] ГОСТ Р 22.3.07-2014. Культура безопасности жизнедеятельности. Общие положения: национальный стандарт РФ: введен 2015-04-01 / Всерос. научно-исследоват. ин-т по проблемам граждан. обороны и чрезвычай. ситуаций МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2014. – 5 с.
- [7] ГОСТ Р 22.3.08-2014. Культура безопасности жизнедеятельности. Термины и определения: национальный стандарт РФ: введен 2014-10-01 / Всерос. научно-исследоват. ин-том по проблемам граждан. обороны и чрезвычай. ситуаций МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2014. – 3 с.
- [8] ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения: национальный стандарт РФ: дата введения 2017-06-01 / Разработан Всерос. научно-исследоват. ин-т по проблемам граждан. обороны и чрезвычай. ситуаций МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2016. – 7 с.
- [9] ГОСТ Р 22.0.12-2015 / ИСО 22300:2012. Международные термины и определения: национальный стандарт РФ: введен 2016-04-01 / Подготовлен Всерос. научно-исследоват. ин-том по проблемам граждан. обороны и чрезвычай. ситуаций МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
- [10] ГОСТ Р 22.9.22-2014. Аварийно-спасательные средства: национальный стандарт РФ: введен 2014-09-01. / Разработан Всерос. научно-исследоват. ин-т по проблемам граждан. обороны и чрезвычай. ситуаций МЧС России. – М.: Стандартинформ, 2014. – 10 с.

- [11] **Морковкин, В.В.** Опыт идеографического описания лексики (анализ слов со значением времени в русском языке) / В.В. Морковкин. – М.: Издательство Московского университета, 1977. – 168 с.
- [12] **Сложеникина, Ю.В.** Философский диалог об именах: Платон, Сумароков, современное состояние / Ю.В. Сложеникина, А.В. Растягаев // *Онтология проектирования*. - 2015. – Т.5, № 4(18). – С.463-471. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-463-471.
- [13] **Сложеникина, Ю.В.** Авторский термин: к определению понятия / Ю.В. Сложеникина, А.В. Растягаев, И.Ю. Кухно // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т.8, №1(27). - С.49-57. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-49-57.
- [14] Комплексный учебный словарь: Лексическая основа русского языка / Под редакцией В.В. Морковкина. – 2-е издание. – М.: АСТ, 2004. – 872 с.
- [15] **Боргест, Н.М.** Иерархические и ассоциативные связи между терминами в тезаурусе на примере словаря проектанта / Н.М. Боргест, Д.В. Шустова, С.Р. Гиматдинова // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. 2012. –№ 2(33). – С. 228-236.

## MODELLING OF EMERGENCY SITUATIONS TERMINOLOGICAL SYSTEM

A. S. Zaytseva<sup>1</sup>, Yu. V. Slozhenikina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Moscow Region, Russia*  
a.zaitseva@yahoo.com

<sup>2</sup> *Moscow City University, Samara brunch, Samara, Russia*  
goldword@mail.ru

### Abstract

The article is devoted to modeling of the emergency situations terminological system. Having set the development of emergency situations terminological system as a goal of investigation, the authors solved several problems — linguistic description of emergency situations terms, lexico-semantic analysis of emergency situations terms, structuring and systematization of emergency situations terms based on principles of ideographic and taxonomic classification. The lexical body of the study consisted of about 3000 terms obtained from industry regulatory documents and special literature. The systems approach was the main method for studying emergency situations terminology. This approach made it possible to identify basic categories organizing ideographic groups around them, and on the whole, forming interconnected and interdependent emergency situations terminological system. The proposed model of emergency situations terminological system is described in terms of basic concepts of modern activities related to emergencies, and in the future it can be expanded with new terms created due to the development and improvement of this professional activity. The model of emergency situations terminological system can have several areas of practical application: correction of existing and creation of new thematic dictionaries, for example, thesaurus of EMERCOM; structuring the terminology studied in the educational process of training specialists for EMERCOM; solving practical problems in the field of special scientific and technical translation; expansion of computational linguistics in the analysis and synthesis of speech in emergency response information systems; improvement of machine learning algorithms for emergency response information system using artificial intelligence.

**Key words:** *modelling, term, terminology, emergency situations, lexico-semantic group, ideographic classification, thesaurus.*

**Citation:** *Zaytseva AS, Slozhenikina YuV. Modelling of emergency situations terminological system [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(4): 562-570. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-562-570.*

### References

- [1] **Leychik VM.** Terminology: Subject, methods, structure [In Russian]. - М.: LIBROKOM, 2014. - 264 p.
- [2] **Civil Protection: Encyclopedic Dictionary [In Russian].** Edited by V.A. Puchkov. - М.: FSBI VNII GOCHS (FC), 2015. - 664 p.

- [3] Federal Law “On Protection of the Population and Territories from Natural and Man-Made Emergencies” dated December 21, 1994 N 68-ФЗ [In Russian]. - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/)
- [4] Federal Law “On Emergency Rescue Services and the Status of Rescuers” dated August 22, 1995 N 151-ФЗ - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_7746/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7746/)
- [5] Federal Law “On Civil Defense” of 12.02.1998 N 28-ФЗ [In Russian]. - [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_17861/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17861/)
- [6] GOST R 22.3.07-2014. Life Safety Culture. General provisions: the national standard of the Russian Federation [In Russian]. introduced 2015-04-01 / Russia. scientific research. In-t on issues of citizens. defense and emergency. situations EMERCOM of Russia. - М.: Standardinform, 2014. - 5 p.
- [7] GOST R 22.3.08-2014. Life Safety Culture. Terms and definitions: national standard of the Russian Federation [In Russian]. introduced 2014-10-01 / Russia. scientific research. In-t on issues of citizens. defense and emergency. situations EMERCOM of Russia. - М.: Standardinform, 2014. - 3 p.
- [8] GOST R 22.0.01-2016. Safety in emergency situations. The main provisions: the national standard of the Russian Federation [In Russian]. the date of introduction 2017-06-01 / Russia. scientific research. In-t on issues of citizens. defense and emergency. situations EMERCOM of Russia. - М.: Standardinform, 2016. - 7 p.
- [9] GOST R 22.0.12-2015 / ISO 22300: 2012. International terms and definitions: national standard of the Russian Federation [In Russian]. introduced 2016-04-01 / Russia. scientific research. In-t on issues of citizens. defense and emergency. situations EMERCOM of Russia. - М.: Standardinform, 2015. - 11 p.
- [10] GOST R 22.9.22-2014. Emergency and rescue equipment: national standard of the Russian Federation [In Russian]. introduced 2014-09-01 / Russia. scientific research. In-t on issues of citizens. defense and emergency. situations EMERCOM of Russia. - М.: Standardinform, 2014. - 10 p.
- [11] **Morkovkin VV.** The experience of ideographic description of vocabulary (analysis of words with the meaning of time in Russian) [In Russian]. - Moscow: Moscow University Press, 1977. - 168 p.
- [12] **Slozhenkina YuV, Rastyagayev AV.** Philosophical dialogue about names: Plato, Sumarokov, current state [In Russian]. *Ontology of designing.* 2015; 5(4): 463-471. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-463-471.
- [13] **Slozhenkina YuV, Rastyagaev AV, Kuhno IYu.** Author's term: to definition of the notion [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 8(1): 49-57. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-49-57.
- [14] Comprehensive educational dictionary: The lexical basis of the Russian language [In Russian]. Edited by V.V. Morkovkin. - 2nd edition. - М.: AST, 2004. - 872 p.
- [15] **Borgest NM, Shustova DV, Gimatdinova SR.** Hierarchical and associative links between terms in a thesaurus using the example of a designer's dictionary [In Russian]. *Bulletin of Samara State Aerospace University.* 2012; 2(33): 228-236.

## Сведения об авторах



**Зайцева Алла Сергеевна**, 1974 г. рождения. Окончила Самарский государственный университет в 1996 году по специальности романо-германская филология. Филолог, переводчик с английского и итальянского языков, преподаватель английского языка. С 2015 года преподаватель кафедры иностранных языков Академии гражданской защиты МЧС России (Химки).

**Alla Sergeevna Zaitseva** (b. 1974) graduated from Samara State University in 1996 with a degree in Romance-Germanic Philology. Philologist, translator from English and Italian, teacher of English. Since 2015, she has been a lecturer at the Foreign Languages Department of the Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia (Khimki).



**Сложеникина Юлия Владимировна**, 1971 г. рождения. Окончила Самарский государственный педагогический университет в 1993 г., д.филол.н. (2006). Профессор кафедры филологии и массовых коммуникаций Московского городского педагогического университета (Самарский филиал), декан филологического факультета. В списке научных трудов более 120 работ в области филологии, терминоведения.

**Yulia Vladimirovna Slozhenikina** (b. 1971) graduated from the Samara State Teachers' Training University in 1993, Full D (2006). She is a Professor at Moscow City University (Samara brunch), Dean of the Faculty of Philology. She is a co-author of more than 120 scientific articles and abstracts in the field of philology, science of terminology.



УДК 004.89, 004.682, 004.832.2

## СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И СТРУКТУРНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ДЛЯ АПРИОРНОГО АНАЛИЗА ЗАПРОСОВ К ОНТОЛОГИЯМ

А.А. Зуенко<sup>1</sup>, П.А. Ломов<sup>2</sup>

Институт информатики и математического моделирования  
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия,  
<sup>1</sup>zuenko@iimm.ru, <sup>2</sup>lomov@iimm.ru

### Аннотация

В отличие от реляционных СУБД, ориентированных на поддержку ссылочной целостности интенсивно меняющихся данных, при использовании RDF-репозитория для хранения онтологий нет необходимости оперировать такими атомарными структурами, как элементарный кортеж таблицы, а можно использовать более подходящие структуры для группирования и обобщения информации. В статье онтология рассматривается как совокупность отношений (унарных и бинарных), выраженных с помощью специализированных матрицеподобных структур – *C*-систем, что позволяет ставить и решать задачи вывода на онтологии как задачи удовлетворения ограничений. Рассматриваемая в статье задача априорного анализа и упрощения SPARQL-запросов решается для онтологий, которые разработаны с применением онтологических паттернов содержания, что обеспечивает предсказуемость структуры потенциальных запросов. Каждому паттерну сопоставляется совокупность шаблонов SPARQL-запросов. Разработан метод априорного анализа и преобразования шаблонов SPARQL-запросов в форму, позволяющую ускорить последующее выполнение конкретизированных пользовательских запросов. Метод основан на совместном применении методов структурной декомпозиции и авторских методов удовлетворения нечисловых ограничений. Применение методов структурной декомпозиции дает возможность разбивать шаблон SPARQL-запроса на части, распараллеливать выполнение подзадач, что особенно актуально при обращении к RDF-репозиториям большого объема. Для соединения отношений, выраженных в виде совокупности *C*-систем, применяются авторские методы удовлетворения нечисловых ограничений, которые представляют собой модификации известных методов достижения совместности в вершинах и по дугам. Предлагаемый подход к представлению онтологии, а также к организации процедур вывода на онтологиях, позволяет снизить потребный объем памяти на хранение онтологии и обеспечить приемлемую скорость выполнения SPARQL-запросов.

**Ключевые слова:** онтология, паттерны онтологического проектирования, задача удовлетворения ограничений, программирование в ограничениях, SPARQL, RDF-репозиторий.

**Цитирование:** Зуенко А.А. Совместное применение методов распространения ограничений и структурной декомпозиции для априорного анализа запросов к онтологиям. / А.А. Зуенко, П.А. Ломов // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.571-593. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-571-593.

### Введение

В современных информационных системах для обеспечения унифицированного представления знаний предметной области в виде совокупности связанных между собой объектов, процессов и явлений применяют онтологии. В качестве хранилищ онтологий, как правило, выступают RDF-репозитории, представляющие онтологии в виде набора RDF-триплетов «субъект-свойство-объект». В качестве языка запросов к RDF-репозиториям в этом случае используется язык SPARQL, позволяющий описывать запросы с помощью комбинаций шаблонов триплетов.

Распространённой проблемой применения RDF-хранилищ в информационных системах является замедление выполнения SPARQL-запросов при достижении большого (более 10 миллионов триплетов) объема хранимых данных. Такое снижение производительности связано с необходимостью перебирать большое количество триплетов при выполнении запроса, содержащего несколько конъюнкций и/или дизъюнкций шаблонов. По этой причине, как правило, выполняют предварительную группировку триплетов в таблицы (*cluster-property table*), соответствующие:

- одному свойству (предикату);
- свойству (предикату) для сущностей одного класса;
- комбинациям субъектов, предикатов и объектов, которые часто встречаются в большинстве запросов.

Наряду с этим, при обработке запроса задействуется оптимизатор, выбирающий наиболее дешёвый план выполнения запроса на основе функции оценки стоимости, которая учитывает количество промежуточных результатов, порождаемых связкой шаблонов триплетов в том или ином плане выполнения.

Для повышения скорости выполнения SPARQL-запросов к онтологиям был разработан способ компактного представления онтологии в виде совокупности специализированных матрицеподобных структур (*C-систем*), а также основанный на этом представлении метод обработки SPARQL-запросов, реализованный в рамках парадигмы программирования в ограничениях [1]. При работе с онтологиями большого размера компактное представление онтологии и применение авторских методов распространения нечисловых ограничений позволило существенно ускорить выполнение SPARQL-запросов по сравнению с традиционным подходом к их обработке, базирующимся на динамическом программировании. Предложенный метод был успешно апробирован на онтологии интегрированного пространства знаний (ИПЗ) [2]. Однако он охватывал только этап непосредственного исполнения запроса, и не затрагивал этап его априорного (до стадии исполнения) анализа.

Особенностью представленных в статье исследований является то, что априорный анализ SPARQL-запросов предлагается выполнять для онтологий, разработанных с применением онтологических паттернов содержания (*Content ontology Design Pattern, CDP*) [3]. Паттерны представляют собой небольшие целостные фрагменты онтологии, формализующие обобщенные ситуации предметной области (например, участие в событии, исполнении роли, наличие частей у объекта и др.). Их использование позволяет обеспечить качество разрабатываемой онтологии, так как каждый паттерн является проверенным решением, доказавшим свою эффективность. По мнению авторов, помимо упрощения и ускорения процесса разработки онтологии, применение паттернов создает предпосылки для повышения эффективности запросов к онтологиям. Каждому онтологическому паттерну ставится в соответствие набор квалификационных вопросов (*Competency questions*) на естественном языке, которые указывают, какую информацию можно получить с помощью представляемого им фрагмента онтологии. При формировании списка квалификационных вопросов предполагается, что именно вопросы из этого списка наиболее часто адресуются информационной системе. Другими словами, квалификационные вопросы являются наиболее частотными, типовыми. Они могут быть легко преобразованы в соответствующие шаблоны SPARQL-запросов, содержащие неизвестные целевые атрибуты и атрибуты, значения которых присваиваются при конкретизации запроса пользователем и обеспечивают фильтрацию данных. Таким образом, структура подобных шаблонов SPARQL-запросов, описывающая используемые связи и концепты онтологии, известны заранее, а конкретные константы (экземпляры концептов онтологии) подставляются в шаблон в качестве условий фильтрации конечным пользователем. Чтобы анализ структуры запроса, построенного на основе такого шаблона, не производился при

каждом исполнении запроса целесообразно априорно единожды выполнить процедуру проверки и упрощения шаблона запроса и многократно использовать результаты анализа для повышения эффективности исполнения конкретизированных запросов данного типа.

Оригинальность предлагаемых исследований состоит в том, что задачу априорного анализа семантической корректности шаблона запроса, а также задачу его упрощения предлагается решать в форме задач удовлетворения ограничений.

Представленный в статье подход основан на интеграции структурных алгоритмов теории удовлетворения ограничений с предлагаемыми алгоритмами распространения нечисловых ограничений и нацелен на априорный анализ структуры запроса, её упрощение, а также на раннее выявление некорректных запросов и подготовку структур данных для эффективного выполнения конкретизированных запросов.

## 1 Методы решения задач удовлетворения ограничений

Рассмотрим общую постановку задачи удовлетворения ограничений и подходы к ее решению. Согласно [4], задача удовлетворения ограничений (*Constraint Satisfaction Problem, CSP*) состоит из трёх компонент:

- $X$  – множество переменных  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ;
- $D$  – множество доменов  $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ , где  $D_i$  является областью определения переменной  $X_i$ ;
- $C$  – множество ограничений  $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ , которые предписывают допустимые комбинации значений переменных.

Состояние задачи описывается как присваивание значений некоторым (частичное присваивание) или всем переменным (полное присваивание):  $\{X_i = v_i, X_j = v_j, \dots\}$ . Решением задачи CSP является полное присваивание, которое удовлетворяет всем ограничениям.

Далее рассматриваются только задачи удовлетворения ограничений с конечными областями определения переменных.

Методы решения задач удовлетворения ограничений могут быть разбиты на *три класса* [5, 6]. Первый класс содержит различные варианты алгоритмов *поиска в глубину с возвратами*, которые строят решение путем расширения частичного присваивания шаг за шагом, используя различные эвристики и применяя разумные стратегии возврата из тупиковых вершин. Ко второму классу относятся *алгоритмы распространения ограничений*, которые исключают из пространства поиска некоторые элементы, не входящие в решение, обеспечивая снижение размерности задачи (см. например [7, 8]). Эти алгоритмы не строят сами по себе решение, поскольку исключают не все элементы, не входящие в решение. Они применяются или для препроцессинга задачи до использования алгоритмов другого типа, или перемежаются с шагами алгоритма другого типа (например, поиска с возвратами) для повышения производительности последнего. Наиболее популярными методами в рамках данного класса являются методы достижения совместности в вершинах (*Node consistency*) и по дугам (*Arc consistency*) [9, 10]. При этом полагается, что переменным соответствуют вершины некоторого графа, а бинарным ограничениям – его дуги. Точное определение понятия совместности довольно громоздко, поэтому здесь не приводится. Алгоритмы распространения ограничений позволяют свести исходную задачу CSP  $\langle X, D, C \rangle$  к более простой задаче  $\langle X', D', C' \rangle$ , где каждая область переменных в  $D'$  является подмножеством соответствующей области в  $D$ , а ограничения  $C'$  содержат то же множество решений CSP, что и ограничения  $C$ , но вид ограничений  $C'$ , как правило, существенно проще.

Наконец, *структурные алгоритмы* (см. например, [11, 12]) используют информацию о структуре первичного или двойственного графа ограничений задачи. Алгоритмы этого клас-

са производят декомпозицию исходной задачи CSP на слабо связанные подзадачи, которые могут быть решены с помощью методов предыдущих двух классов.

Рассмотрим основные подходы, которые лежат в основе структурных алгоритмов. Другими словами, опишем способы, позволяющие использовать для быстрого поиска решений структуру самой задачи, представленную в виде графа ограничений.

Структура или топология задач CSP может описываться с помощью различных графовых моделей: (первичного) *графа ограничений*, *гиперграфа ограничений*, *двойственного графа ограничений*.

Первичный граф ограничений CSP  $(V, D, C)$  – это неориентированный граф  $G = (V, E)$ , вершины  $V$  которого соответствуют переменным CSP, причём две вершины соединяются ребром в графе  $G$ , если соответствующие переменные участвуют в одном и том же ограничении.

Граф ограничений может быть использован для разбиения всей задачи на совокупность более простых с точки зрения вычислительной сложности подзадач.

Если в составе задачи CSP можно выделить полностью независимые друг от друга подзадачи, то их можно решать отдельно друг от друга, а полученные решения впоследствии скомбинировать в решение исходной задачи.

Для разбиения задачи CSP на независимые подзадачи  $\{CSP_i\}$ , можно рассмотреть связанные компоненты графа ограничений. Предположим, что каждая подзадача  $CSP_i$  содержит  $c$  переменных из общего количества  $n$  переменных, где  $c$  – константа. В таком случае получится  $n/c$  подзадач, и для решения каждой из них потребуется, самое большее, объем работы  $d^c$ , где  $d$  – размер доменов переменных. Таким образом, общий объём работы измеряется величиной  $O(d^c \cdot n/c)$ , которая линейно зависит от  $n$ ; без такой декомпозиции общий объём работы измерялся бы величиной  $O(d^n)$ , которая экспоненциально зависит от  $n$ . Поэтому полностью независимые подзадачи являются очень привлекательными. Однако они встречаются редко.

В большинстве случаев подзадачи любой задачи CSP связаны друг с другом по переменным. В простейшем случае граф ограничений является деревом: любые две переменные связаны не больше чем одним путём. Алгоритм решения CSP с древовидной структурой обладающий низкой вычислительной сложностью (задача CSP может быть решена за линейное время [13]), включает следующие этапы.

- 1) выбрать в качестве корня дерева любую переменную и упорядочить переменные от корня к листьям таким образом, чтобы родительская вершина каждой вершины в дереве предшествовала этой вершине в таком упорядочении. Обозначить эти переменные по порядку как  $X_1, \dots, X_n$ . Теперь каждая переменная, кроме корня, имеет только одну родительскую переменную.
- 2) в цикле по  $j$  от  $n$  до 2 применять проверку совместности по дугам  $(X_i, X_j)$ , где  $X_i$  – родительская вершина вершины  $X_j$ , удаляя значения из области определения  $D_i$  по мере необходимости.
- 3) в цикле по  $j$  от 1 до  $n$  присваивать  $X_j$  любое значение, совместное со значением, присвоенным  $X_i$ , где  $X_i$  – родительская вершина вершины  $X_j$ .

Поскольку существует эффективный алгоритм для деревьев, следует рассмотреть вопрос о том, можно ли каким-то образом приводить к древовидным структурам более общие графы ограничений. Существуют два основных способа решения этой задачи; один из них основан на удалении вершин, а другой – на слиянии вершин друг с другом и образовании супервершин. Первый подход предусматривает присваивание значений некоторым переменным так, чтобы оставшиеся переменные образовывали дерево. В рамках первого подхода наиболее известными методами являются *метод множеств разрыва цикла* [14] и *метод нахождения связанных компонент графа ограничений* [15, 16].



К типичным методам, реализованным в рамках второго подхода, относятся: метод древовидной декомпозиции (*tree decomposition*) [15, 17, 18] и метод древовидной кластеризации (*tree-clustering*) [17].

### 1.1 Метод множеств разрыва цикла

Метод множеств разрыва цикла (*cycle cutset*) [14] основан на том, что присваивание значения переменной устраняет её из дальнейшего рассмотрения в этой ветви дерева поиска. Это сильно меняет связность оставшейся части графа ограничений. Общий алгоритм решения указанным способом описан ниже [4].

- 1) выбрать подмножество  $S$  из множества переменных задачи CSP, такое, что граф ограничений после удаления  $S$  становится деревом. Подмножество  $S$  называется множеством разрыва цикла.
- 2) для каждого возможного присваивания переменным в  $S$ , которое удовлетворяет всем ограничениям в  $S$ , выполнить следующее:
  - удалить из областей определения оставшихся переменных любые значения, несовместные с данным присваиванием для  $S$ ;
  - если оставшаяся задача CSP имеет решение, вернуть это решение вместе с присваиванием для  $S$ .

Если множество разрыва цикла имеет размер  $c$ , то общее время работы алгоритма составляет  $O(d^c \cdot (n-c)d^2)$ . Несмотря на то, что задача поиска наименьшего множества разрыва цикла является NP-трудной, известны эффективные приближенные алгоритмы её решения.

### 1.2 Древовидная декомпозиция

Любая древовидная декомпозиция должна удовлетворять следующим требованиям:

- каждая переменная из первоначальной задачи должна появляться, по меньшей мере, в одной из подзадач;
- если две переменные первоначальной задачи связаны ограничением, то они должны появляться вместе (наряду с этим ограничением), по меньшей мере, в одной из подзадач;
- если какая-то переменная появляется в двух подзадачах в дереве, то должна появляться в каждой подзадаче вдоль пути, соединяющего эти подзадачи.

Ширина дерева древовидной декомпозиции графа на единицу меньше размера наибольшей подзадачи; ширина дерева самого графа определяется как минимальная ширина дерева среди всех его древовидных декомпозиций.

Если граф имеет ширину дерева  $w$  и дана соответствующая древовидная декомпозиция, то соответствующая задача может быть решена за время  $O(nd^{w+1})$ . Это означает, что задачи CSP с графами ограничений, характеризующимися конечной шириной дерева, могут быть решены за полиномиальное время. Задача поиска декомпозиции с минимальной шириной дерева является NP-трудной, но существуют эвристические методы, которые хорошо работают на практике.

Описанные выше методы структурной декомпозиции имеют следующие общие черты. Каждая подзадача общей задачи CSP решается независимо; если какая-либо из них не имеет решения, то вся задача также не имеет решения. Если удастся решить все подзадачи, то предпринимается попытка составить глобальное решение.

## 2 Компактное представление онтологии с помощью нечисловых матриц и вывод на онтологии как распространение нечисловых ограничений

Любую онтологию можно рассматривать как совокупность отношений, что даёт возможность ставить и решать задачи вывода на онтологиях как задачи удовлетворения ограничений. Однако табличное представление отношений не позволяет обеспечить достаточную эффективность процедур вывода. Поэтому разработка способов «сжатого» представления многоместных отношений представляется актуальной проблемой.

Многоместные отношения могут быть выражены более компактно, чем полным перечислением своих кортежей. Любое отношение может быть представлено как объединение декартовых произведений некоторых множеств. Эта мысль наглядно проиллюстрирована на рисунке 1, где слева показано отношение, записанное в виде обычной таблицы, а справа – «сжатая» форма записи многоместного отношения в виде специализированной матрицы.

Здесь области определения переменных:  $X = \{a, b, c, d\}$ ,  $Y = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ .

Фактически при матричной записи на рисунке 1b между компонентами одной строки опускается знак операции  $\times$  (декартово произведение), а между строками явно не записывается знак операции  $\cup$  (объединение множеств).

$X$	$Y$		
$c$	1		
$c$	2		
$c$	4		
$c$	5		
$b$	2	$X$	$Y$
$b$	4	$\{c\}$	$\{1, 2, 4, 5\}$
$d$	1	$\{b\}$	$\{2, 4\}$
$d$	5	$\{d\}$	$\{1, 5\}$
(a)		(b)	

Рисунок 1 – Табличное представление ограничения (a); представление ограничения в виде специализированной матрицы (b)

Предлагаемый математический аппарат для «сжатого» представления многоместных отношений используют два типа матрицеподобных структур [19, 20]. Первый тип – это  $S$ -системы.  $S$ -система – это нечисловая матрица, где в качестве ячеек выступают не отдельные элементы, а множества.

Распишем  $S$ -систему, представленную на рисунке 1b в явном виде, то есть в форме алгебраического выражения над множествами:

$$T[XY] = \begin{bmatrix} \{c\} & \{1, 2, 4, 5\} \\ \{b\} & \{2, 4\} \\ \{d\} & \{1, 5\} \end{bmatrix} = \{c\} \times \{1, 2, 4, 5\} \cup \{b\} \times \{2, 4\} \cup \{d\} \times \{1, 5\}.$$

Графически каждый  $S$ -кортеж соответствует некоторой области в признаковом пространстве (декартово произведению), а вся  $S$ -система – объединению этих областей.

Другой тип матрицеподобных структур, обеспечивающий компактное представление многоместных отношений, – это  $D$ -система. Данная матрица записывается в обратных скобках. Ниже приводится  $D$ -система  $P[XY]$ , которая эквивалентна рассмотренной ранее  $S$ -системе  $T[XY]$ , поскольку обе эти структуры описывают одну и ту же таблицу, представленную на рисунке 1a:

$$P[XY] = \begin{bmatrix} \{c,d\} & \{2,4\} \\ \{b,c\} & \{1,5\} \\ \emptyset & \{1,2,4,5\} \end{bmatrix} = (\{c,d\} \times \{1,2,3,4,5\} \cup \{a,b,c,d\} \times \{2,4\}) \cap \\ \cap (\{b,c\} \times \{1,2,3,4,5\} \cup \{a,b,c,d\} \times \{1,5\}) \cap (\{a,b,c,d\} \times \{1,2,4,5\}).$$

Пустая компонента « $\emptyset$ » – это фиктивная компонента, не содержащая значений.

$D$ -система расписывается как сложное алгебраическое выражение. Каждая строка  $D$ -системы описывает область в признаковом пространстве. Эта область имеет более сложную структуру, чем декартово произведение (объединение декартовых произведений). Вся  $D$ -система есть пересечение областей, соответствующих отдельным строкам.

Напомним, что эффективный алгоритм решения задачи CSP для случая, когда первичный граф ограничений представляет собой дерево, опирается на такие методы распространения ограничений, как достижение совместности в вершинах (*Node consistency*) и по дугам (*Arc consistency*) [9, 10]. Использование специализированных матриц для представления качественных зависимостей привело к необходимости модифицировать алгоритмы обеспечения совместности. Уточним особенности процесса редуцирования пространства поиска (распространения ограничений) на основе матричного представления ограничений. Для этого приведём утверждения, позволяющие реализовывать эквивалентные преобразования совокупности ограничений для случая, когда ограничения представлены в виде набора  $C$ -систем [1, 21]. Целью преобразований является приведение CSP к более простому виду, где содержится меньшее количество  $C$ -систем, строк  $C$ -систем, столбцов (атрибутов)  $C$ -систем, значений в доменах атрибутов и т.п.

**Утверждение 1 (У1).** Если все строки (кортежи)  $C$ -системы пусты, то есть содержат хотя бы по одной пустой компоненте каждая, то  $C$ -система пуста (соответствующая задача CSP несовместна).

**Утверждение 2 (У2).** Если все компоненты некоторого атрибута (столбца  $C$ -системы) являются полными, то данный атрибут можно удалить из  $C$ -системы (удаляются все компоненты, стоящие в соответствующем столбце), а пара «удаляемый атрибут – его домен» сохраняется в векторе частичного решения.

**Утверждение 3 (У3).** Если домен некоторого атрибута  $C$ -системы содержит значения, не встречающиеся в соответствующем столбце, то эти значения удаляются из данного домена.

**Утверждение 4 (У4).** Если строка  $C$ -системы содержит хотя бы одну пустую компоненту (строка пуста), то строка удаляется.

**Утверждение 5 (У5).** Если компонента некоторого атрибута содержит значение, не принадлежащее соответствующему домену, то это значение удаляется из компоненты.

**Утверждение 6 (У6).** Если одна строка  $C$ -системы полностью доминирует (покомпонентно содержит) другую строку, то доминируемая строка удаляется из  $C$ -системы.

Аналогичные правила были сформулированы для случая, когда требуется распространить ограничения, выраженные в виде совокупности  $D$ -систем [22-24].

Часть из приведенных утверждений позволяет исключать значения из доменов и компонент атрибутов (У3, У5) или даже сами столбцы-атрибуты (У2), а часть дает возможность исключать из рассмотрения лишние строки (У4, У6).

*Признак успешного завершения* процесса поиска – элиминация из  $C$ -системы всех строк и столбцов без образования пустых строк. Другими словами, результирующее состояние в этом случае будет характеризоваться только совокупностью непустых усеченных доменов в векторе решения.

*Признаком несовместности CSP* является пустота  $C$ -системы (У1).

## 2.1 Модификации алгоритмов достижения вершинной и дуговой совместностей

Рассмотрим реализацию алгоритма *достижения вершинной совместности* для случая, когда CSP выражена в виде совокупности  $C$ -систем. Унарное ограничение моделируется  $C$ -системой, состоящей из одной строки, в которой имеется в точности одна нефиктивная компонента. Ввиду явного перечисления всех допустимых значений для указанного атрибута в нефиктивной компоненте  $C$ -системы, существенно упрощается реализация алгоритма *обеспечения вершинной совместности*: требуется просто пересечь два множества, одно из которых описывает старый домен атрибута, а второе соответствует нефиктивной компоненте. В результате пересечения образуется новый домен атрибута, откуда исключены значения, не входящие в единственную непустую компоненту. При этом само ограничение исключается из дальнейшего рассмотрения. Особенностью процедур распространения ограничений с использованием предлагаемых матрицеподобных структур является то, что остальные ограничения задачи CSP, записанные в виде  $C$ -систем, модифицируются, «настраиваясь» на новые домены переменных. В результате «настройки» из компонент  $C$ -системы могут вычеркиваться строки, столбы, значения из компонент, часть компонент может стать фиктивными. В процессе «настройки» могут образовываться новые унарные ограничения. Таким образом, процесс обеспечения вершинной совместности носит итеративный характер: «усечение доменов переменных» – «настройка  $C$ -систем на новые домены» – «усечение доменов переменных» и т.д.

Алгоритм обеспечения *совместности по дугам* для случая  $C$ -систем реализуется также довольно просто. Каждое бинарное отношение, моделируемое той или иной  $C$ -системой, на графе ограничений можно изобразить двумя дугами: дугой  $(X, Y)$  и дугой  $(Y, X)$ , где  $X, Y$  – некоторые переменные (в нашей терминологии – атрибуты). По сути, дуги задают направление проверки бинарного отношения: в первом случае исключаются «лишние» значения из домена переменной  $X$  (домен переменной  $X$  обозначается  $D_X$ ), а во втором – из домена переменной  $Y$  (домен переменной  $Y$  обозначается  $D_Y$ ). Дугу  $(X, Y)$  можно сделать совместной, удаляя из  $D_X$  все значения, для которых не существует таких значений в  $D_Y$ , чтобы удовлетворялось соответствующее бинарное ограничение. В рамках предлагаемого подхода к обработке нечисловых ограничений, для обеспечения совместности одной дуги  $(X, Y)$  достаточно перечислить во вновь формируемом домене переменной  $X$  все значения, встречающиеся в компонентах того столбца  $C$ -системы, который соответствует атрибуту  $X$ . Данный алгоритм также носит итеративный характер, в процессе «настройки» на новые домены могут появляться новые унарные ограничения, а прежние бинарные ограничения упрощаются или вовсе исключаются из рассмотрения, обеспечивая сокращение пространства поиска.

## 2.2 Моделирование запросов к онтологиям

В качестве примера выберем один из паттернов онтологии ИПЗ [2], используемый для представления процессов исследований и соотношенных с ними объектов. UML-схема данного паттерна приведена на рисунке 2. В соответствии с данным паттерном «Процесс исследования» (*Investigation*) содержит (отношение *participates-in*) персон (*Person*), реализующих роль «Исследователь» (*Researcher role*), и сущности, реализующие роли «Объект исследования» (*Investigation object role*), и «Предмет исследования» (*Investigation subject role*). Процесс исследования предполагает некоторое заключение (*Conclusion*), которое является «Информационным объектом» (*Information content entity*) о некоторой сущности предметной области (*Entity*). Для паттерна заданы следующие квалификационные вопросы: «Какой предмет в контексте данного объекта планировалось исследовать?», «Кто участвовал в исследованиях данной сущности?», «Какие результаты были получены в данном исследовании?» и др.



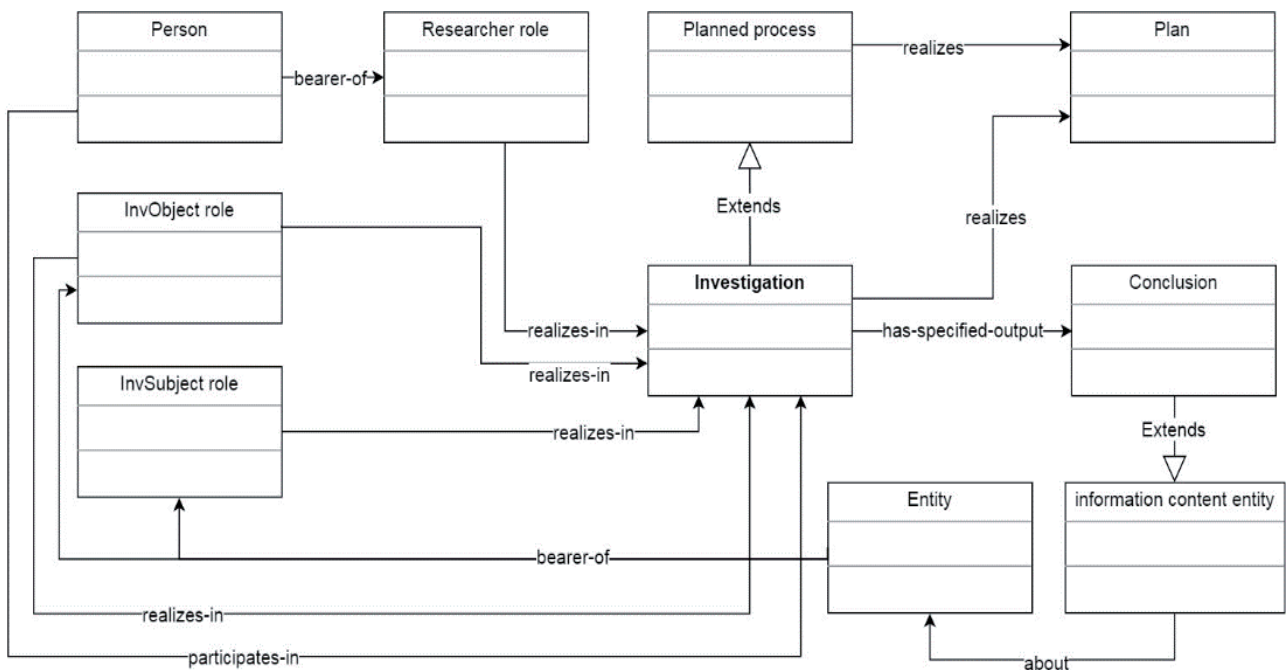


Рисунок 2 – UML-схема онтологического паттерна содержания «Исследование» (*Investigation*)

Рассмотрим применение предлагаемого подхода на примере анализа шаблона SPARQL-запроса, соответствующего одному из квалификационных вопросов – «Какие выводы и о каких предметах исследования сделал исследователь X?»:

```

PREFIX IKS: < http://www.iimm.ru/ontologies/oiks>
PREFIX INV: < http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-process>
SELECT ?conclusion ?entity
WHERE {
  [X_person] IKS:bearer-of ?role.
  ?role rdf:type INV:Researcher-role.
  ?role IKS:realizes-in ?inv.
  ?entity IKS:bearer-of ?objRole.
  ?objRole IKS:realizes-in ?inv.
  ?inv IKS:has-specified-output ?conclusion.
  ?conclusion IKS:about ?entity.
}.
    
```

Рассмотрим его выполнение на конкретном наборе данных (см. рисунок 3).

Для наглядности во фрагменте присутствуют только те классы и отношения, которые представлены в рассматриваемом SPARQL-запросе.

Для классов, экземпляров классов, и связей фрагмента онтологии, показанного на рисунке 3, введём специальные обозначения. Каждому классу фрагмента онтологии сопоставим определённую переменную (атрибут), а каждому экземпляру класса определённое значение данной переменной так, как это показано в таблице 1. Тогда в пределах рассматриваемого фрагмента получим следующие соответствия «атрибут – домен атрибута»:

- X – { $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ }, Y – { $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ }, Z – { $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ },
- W – { $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ }, L – { $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8$ },
- M – { $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}$ }.

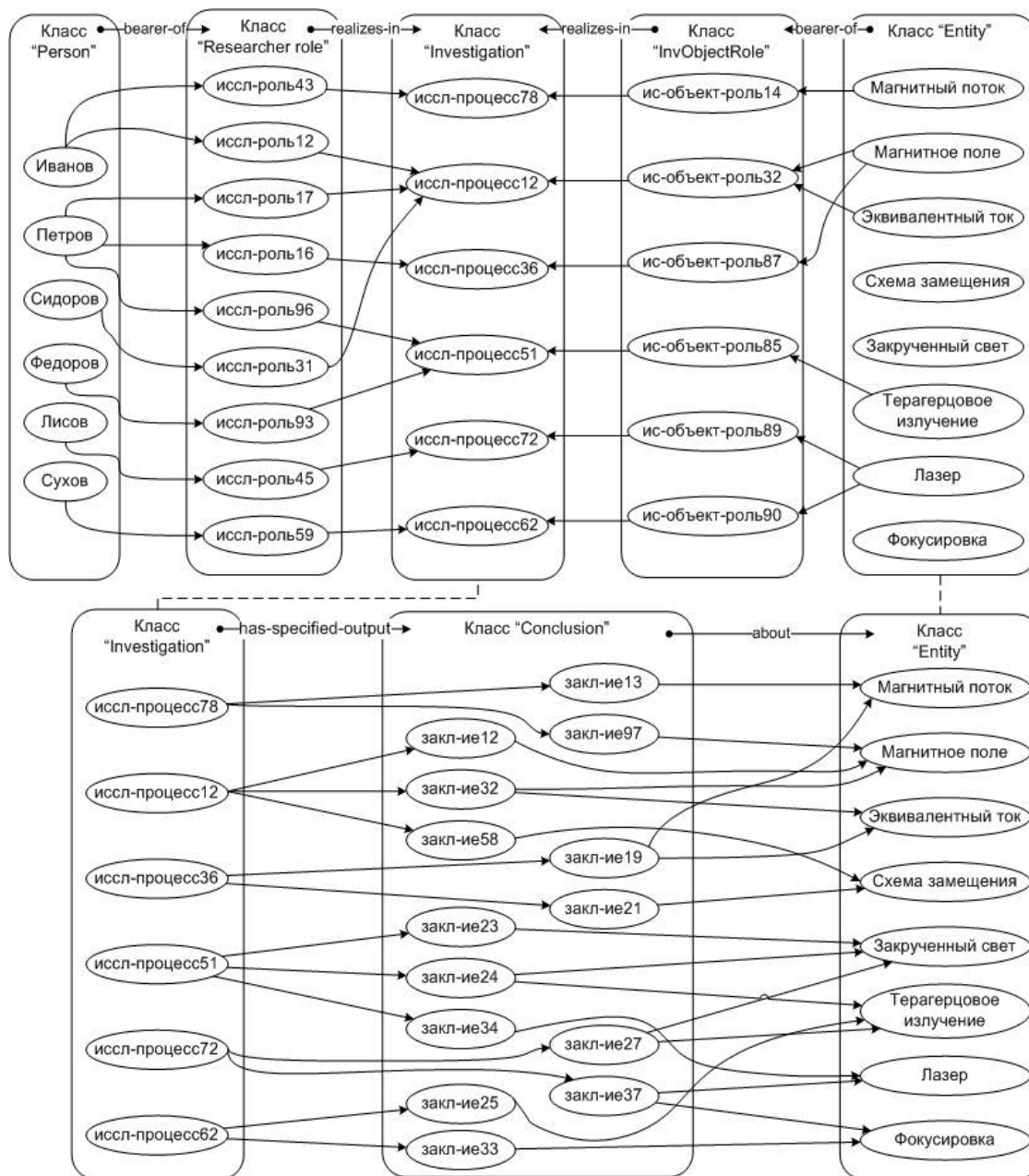


Рисунок 3 – Фрагмент данных в RDF-репозитории

Теперь каждой связи онтологии, которая фигурирует в рассматриваемом шаблоне SPARQL-запроса, сопоставим ограничение:

- $R_1[XY]$  – отношение «bearer-of» между классами  $X$  («PERSON») и  $Y$  («RESEARCHER\_ROLE»);
- $R_2[YZ]$  – отношение «realizes-in» между классами  $Y$  («RESEARCHER\_ROLE») и  $Z$  («INVESTIGATION»);
- $R_3[WZ]$  – отношение «realizes-in» между классами  $W$  («INV\_OBJ\_ROLE») и  $Z$  («INVESTIGATION»);
- $R_4[LW]$  – отношение «bearer-of» между классами  $L$  («ENTITY») и  $W$  («INV\_OBJ\_ROLE»);
- $R_5[ZM]$  – отношение «has-specified-output» между классами  $Z$  («INVESTIGATION») и  $M$  («CONCLUSION»);
- $R_6[ML]$  – отношение «about» между классами  $M$  («CONCLUSION») и  $L$  («ENTITY»).

Таблица 1 - Обозначение классов и экземпляров классов

Названия классов и экземпляров классов	Обозначение классов	Обозначение значений переменных
КЛАСС «PERSON» «Иванов» «Петров» «Сидоров» «Федоров» «Лисов» «Сухов»	X	$a_1$ $a_2$ $a_3$ $a_4$ $a_5$ $a_6$
КЛАСС «RESEARCHER_ROLE» «иссл-роль43» «иссл-роль12» «иссл-роль17» «иссл-роль16» «иссл-роль96» «иссл-роль31» «иссл-роль93» «иссл-роль45» «иссл-роль59»	Y	$b_1$ $b_2$ $b_3$ $b_4$ $b_5$ $b_6$ $b_7$ $b_8$ $b_9$
КЛАСС «INVESTIGATION» «иссл-процесс78» «иссл-процесс12» «иссл-процесс36» «иссл-процесс51» «иссл-процесс72» «иссл-процесс62»	Z	$c_1$ $c_2$ $c_3$ $c_4$ $c_5$ $c_6$
КЛАСС «INV_OBJ_ROLE» «исс-объ-роль14» «исс-объ-роль32» «исс-объ-роль87» «исс-объ-роль85» «исс-объ-роль89» «исс-объ-роль90»	W	$d_1$ $d_2$ $d_3$ $d_4$ $d_5$ $d_6$
КЛАСС «ENTITY» «Магнитный поток» «Магнитное поле» «Эквивалентный ток» «Схема замещения» «Закрученный свет» «Терагерцовое излучение» «Лазер» «Фокусировка»	L	$e_1$ $e_2$ $e_3$ $e_4$ $e_5$ $e_6$ $e_7$ $e_8$
КЛАСС «CONCLUSION» «закл-ие13» «закл-ие97» «закл-ие12» «закл-ие32» «закл-ие58» «закл-ие19» «закл-ие21» «закл-ие23» «закл-ие24» «закл-ие34» «закл-ие27» «закл-ие37» «закл-ие25» «закл-ие33»	M	$f_1$ $f_2$ $f_3$ $f_4$ $f_5$ $f_6$ $f_7$ $f_8$ $f_9$ $f_{10}$ $f_{11}$ $f_{12}$ $f_{13}$ $f_{14}$

На рисунке 3 перечисленные отношения  $R_1$ – $R_6$  обозначены стрелками. Учитывая конкретные экземпляры классов, можно записать перечисленные выше отношения в виде предлагаемых матриц ограничений, а именно в виде  $C$ -систем:

- Отношение  $R_1[XY]$

$$\begin{bmatrix} \{a_1\} & \{b_1, b_2\} \\ \{a_2\} & \{b_3, b_4, b_5\} \\ \{a_3\} & \{b_6\} \\ \{a_4\} & \{b_7\} \\ \{a_5\} & \{b_8\} \\ \{a_6\} & \{b_9\} \end{bmatrix}$$
- Отношение  $R_2[YZ]$

$$\begin{bmatrix} \{b_1\} & \{c_1\} \\ \{b_2, b_3, b_6\} & \{c_2\} \\ \{b_4\} & \{c_3\} \\ \{b_5, b_7\} & \{c_4\} \\ \{b_8\} & \{c_5\} \\ \{b_9\} & \{c_6\} \end{bmatrix}$$
- Отношение  $R_3[WZ]$

$$\begin{bmatrix} \{d_1\} & \{c_1\} \\ \{d_2\} & \{c_2\} \\ \{d_3\} & \{c_3\} \\ \{d_4\} & \{c_4\} \\ \{d_5\} & \{c_5\} \\ \{d_6\} & \{c_6\} \end{bmatrix}$$
- Отношение  $R_4[LW]$

$$\begin{bmatrix} \{e_1\} & \{d_1\} \\ \{e_2\} & \{d_2, d_3\} \\ \{e_3\} & \{d_2\} \\ \{e_6\} & \{d_4\} \\ \{e_7\} & \{d_5, d_6\} \end{bmatrix}$$
- Отношение  $R_5[ZM]$

$$\begin{bmatrix} \{c_1\} & \{f_1, f_2\} \\ \{c_2\} & \{f_3, f_4, f_5\} \\ \{c_3\} & \{f_6, f_7\} \\ \{c_4\} & \{f_8, f_9, f_{10}\} \\ \{c_5\} & \{f_{11}, f_{12}\} \\ \{c_6\} & \{f_{13}, f_{14}\} \end{bmatrix}$$
- Отношение  $R_6[ML]$

$$\begin{bmatrix} \{f_1, f_6\} & \{e_1\} \\ \{f_2, f_3, f_4\} & \{e_2\} \\ \{f_4, f_6\} & \{e_3\} \\ \{f_5, f_7\} & \{e_4\} \\ \{f_8, f_9, f_{11}\} & \{e_5\} \\ \{f_9, f_{11}, f_{14}\} & \{e_6\} \\ \{f_{10}, f_{13}\} & \{e_7\} \\ \{f_{12}, f_{14}\} & \{e_8\} \end{bmatrix}$$

На примере матрицы  $R_1$  поясним, что обозначает подобная запись. Первая строка данной матрицы соответствует двум стрелкам (дугам) на рисунке 3, проведённым от экземпляра «Иванов» (значение  $a_1$ ) класса «PERSON» (переменная  $X$ ) к экземплярам «иссл-роль43» (значение  $b_1$ ) и «иссл-роль12» (значение  $b_2$ ) класса «RESEARCHER\_ROLE» (переменная  $Y$ ). По аналогии, каждой строке всех перечисленных  $C$ -систем соответствует некоторое множество дуг между экземплярами соответствующих классов онтологии, изображённых на рисунке 3.

Реализация рассматриваемого шаблона запроса с помощью матриц ограничений будет сводиться к вычислению соединения бинарных отношений:

$$R_1[XY] \bowtie R_2[YZ] \bowtie R_3[WZ] \bowtie R_4[LW] \bowtie R_5[ZM] \bowtie R_6[ML].$$

В настоящей работе задачу соединения нескольких отношений, выраженных в виде совокупности нечисловых матриц, предлагается рассматривать как задачу удовлетворения ограничений и решать её с помощью упомянутых авторских методов распространения нечисловых ограничений.

### 3 Структурная декомпозиция и априорный анализ запросов

Эффективность и целесообразность применения различных методов ускорения обработки запросов, во многом, определяется наличием информации о возможных типах запросов, а также задачами, для решения которых используется хранилище онтологии. Наличие априорной информации о запросах к онтологии обуславливается методикой её разработки, включающей, как правило, этап тестирования возможности получения ответов на контрольные вопросы. Формирование контрольных вопросов осуществляется с учетом будущих задач, на решение которых направлена онтология. Использование онтологических паттернов содер-



жания при разработке онтологий гарантирует наличие контрольных (квалификационных) вопросов. Набор квалификационных вопросов является обязательным атрибутом паттерна, поскольку позволяет точно указать разработчику онтологии, какую информацию о каких сущностях и их взаимосвязях можно будет получить. Тем самым, обеспечивается возможность подбора того паттерна, который потенциально будет позволять отвечать на большинство пользовательских запросов.

Наличие набора наиболее ожидаемых вопросов позволяет проводить априорный анализ структуры соответствующих SPARQL-запросов к онтологии. Однако это не ограничивает пользователя в отношении формулировок запросов иного вида, в частности, пользовательский запрос может соответствовать комбинации квалификационных. Также возможна ситуация, когда пользовательский запрос не соотносится ни с одним из квалификационных вопросов или их комбинацией.

Особенности методов априорного анализа запросов также сильно зависят от характера использования хранилища онтологий. Существует несколько вариантов использования хранилищ онтологий. Одним из вариантов является хранилище для транзакционных систем (*Online Transaction Processing, OLTP*). Заметим, что на данный момент более эффективными и распространёнными хранилищами для OLTP-систем признаются реляционные базы данных, а не RDF-репозитории. Поэтому данный вариант подробно в работе не рассматривается. Еще одним вариантом является применение онтологий и RDF-репозитория для управления нормативно-справочными данными (*Reference Data Management, RDM*), управления мастер-данными (*Master Data Management, MDM*) и/или организации систем интерактивной аналитической обработки (*Online Analytical Processing, OLAP*). В этих случаях частота изменения данных довольно невысока.

Таким образом, среди всего множества вариантов можно выделить два крайних случая. Первый вариант предполагает ориентацию хранилища на оперативную модификацию информации и обработку *ad hoc* - запросов. Второй вариант подразумевает низкую частоту изменений данных и предопределённый набор квалификационных вопросов, соответственно изначально заданный перечень шаблонов SPARQL-запросов.

И в первом, и во втором случае априорный анализ запроса способен существенно ускорить процесс его исполнения. В первом случае имеется возможность проанализировать и упростить структуру конкретного запроса, выявить некорректности в условиях фильтрации запроса. Второй вариант позволяет выполнить более глубокий априорный анализ. Каждый квалификационный вопрос транслируется в соответствующий шаблон SPARQL-запроса. Единожды выполнив анализ и упрощение шаблона запроса, появляется возможность многократно использовать результаты предварительных вычислений для повышения эффективности обработки однотипных конкретизированных запросов. Тот факт, что данные практически не изменяются, позволяет для каждого шаблона запроса заранее подготовить структуры данных с целью ускорения выполнения конкретизированных запросов.

Итак, можно выделить следующие основные этапы априорного анализа запросов:

- 1) Применение алгоритмов структурной декомпозиции для разбиения шаблона запроса (или конкретного запроса) на части. Выполняется при анализе как шаблонов запросов, так и при анализе конкретных запросов.
- 2) Анализ совместности условий фильтрации шаблона запроса (или конкретного запроса). Данный этап актуален, прежде всего, при анализе конкретных запросов.
- 3) Подготовка структур данных для быстрого выполнения конкретных запросов, описываемых шаблоном. Данный этап присутствует только при анализе шаблонов запросов.

Дальнейшее объяснение предлагаемого подхода к априорному анализу запросов к онтологиям выполнено на примере рассмотренного выше шаблона SPARQL-запроса, который

соответствует квалификационному вопросу «Какие выводы и о каких предметах исследования сделал исследователь X?» и ситуации, когда редко осуществляется модификация данных в репозитории.

Представим данный шаблон SPARQL-запроса в виде графа ограничений (рисунок 4).

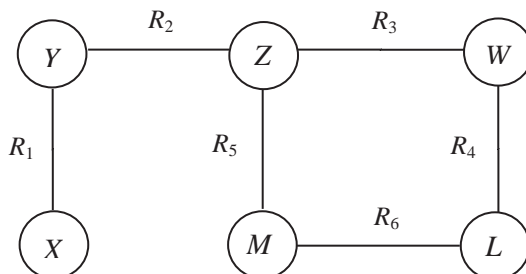


Рисунок 4 – Граф задачи CSP, представляющий шаблон запроса

### 3.1 Этап структурной декомпозиции

Применение описанных ранее алгоритмов структурной декомпозиции позволяет разбить шаблон запроса/запрос на слабо связанные части шаблона/подзапросы. На последующих этапах это позволяет независимо вычислять результаты подзадач, а затем выполнять их соединение для получения ответа на исходную задачу. На рисунке 5 приведен пример структурной декомпозиции графа задачи CSP, которая описывает шаблон запроса (рисунок 4). Разбиение исходной задачи CSP на подзадачи выполняется путем присваивания значений переменной Z.

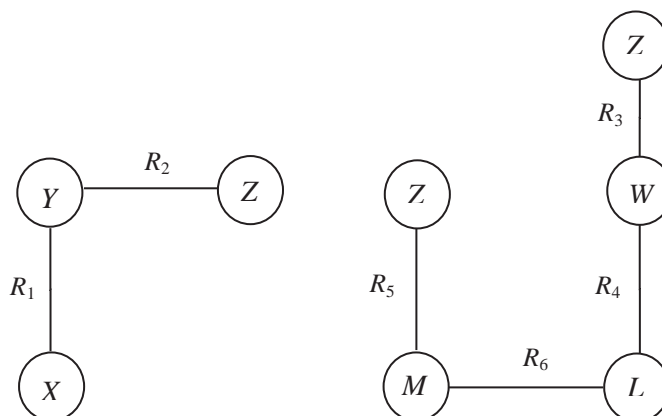


Рисунок 5 – Пример структурной декомпозиции шаблона запроса после присваивания значений переменной Z

В этом случае для решения исходной задачи требуется рассмотреть две слабо связанные подзадачи CSP:

- 1)  $R_3[WZ] \bowtie R_4[LW] \bowtie R_5[ZM] \bowtie R_6[ML]$ ;
- 2)  $R_1[XY] \bowtie R_2[YZ]$ .

На рисунке 6 показан пример того, как можно осуществить разбиение ранее описанного шаблона запроса альтернативным способом с применением метода древовидной декомпозиции. В этом случае для решения исходной задачи требуется рассмотреть три слабо связанные подзадачи CSP:

- 1)  $R_1[XY] \bowtie R_2[YZ]$ ;
- 2)  $R_3[WZ] \bowtie R_4[LW]$ ;
- 3)  $R_5[ZM] \bowtie R_6[ML]$ .

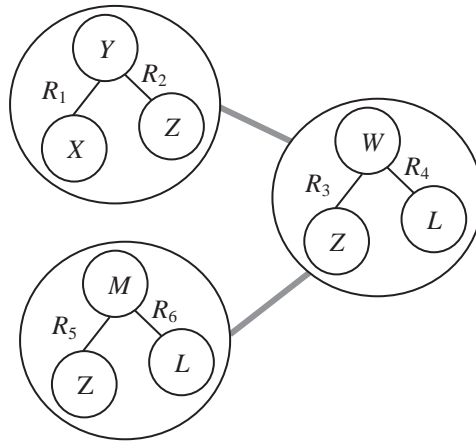


Рисунок 6 – Пример разбиения шаблона запроса на части методом древовидной декомпозиции

### 3.2 Этап подготовки структур данных для быстрого выполнения конкретизированных запросов

Поскольку наиболее трудоемкой операцией в ходе исполнения SPARQL-запросов к RDF-хранилищам является соединение триплетов, то для шаблонов запросов, в ряде случаев, имеет смысл вычислять подобные соединения заранее, получая одно многоместное отношение (ограничение). Для каждой подзадачи CSP, полученной в процессе структурной декомпозиции шаблона запроса, можно заранее вычислить соответствующее многоместное отношение. Затем, эти отношения можно соединить в одно. Приведём описанные вычисления, взяв за основу декомпозицию шаблона, показанную на рисунке 5.

Рассмотрим первую из двух подзадач CSP:  $R_3[WZ] \bowtie R_4[LW] \bowtie R_5[ZM] \bowtie R_6[ML]$ .

Продемонстрируем, как осуществляется упрощение данной задачи CSP на основе алгоритмов распространения нечисловых ограничений. Поскольку в рассматриваемой задаче CSP отсутствуют унарные ограничения, то проанализируем имеющиеся ограничения на совместность по дугам. Последовательно анализируя ограничения  $R_1$ – $R_3$ , выясняем, что они совместны по дугам. Анализ ограничения  $R_4[LW]$  показывает, что условие совместности по дугам для него не выполняется: первый столбец данной матрицы не содержит значений  $e_4$ ,  $e_5$  и  $e_8$  переменной L. Другими словами значения  $e_4$ ,  $e_5$  и  $e_8$  не имеют поддержки в  $R_4[LW]$ , поэтому данные значения должны быть исключены из домена атрибута L. Согласно утверждению У3, домен атрибута L сужается до множества  $\{e_1, e_2, e_3, e_6, e_7\}$ .

После того, как ограничение  $R_4[LW]$  стало совместно по дугам, активируется ограничение  $R_6[ML]$ , также содержащее в схеме атрибут L, домен которого был изменен. Теперь выполняется «настройка» ограничения  $R_6[ML]$  на новый домен переменной L. При этом, по правилу У5 из второго столбца матрицы  $R_6[ML]$  удаляются значения  $e_4$ ,  $e_5$  и  $e_8$ , образуя пустые компоненты, а затем, опираясь на У4, удаляются строки 4, 5 и 8, соответственно. В результате матрица  $R_6[ML]$  примет вид: отношение  $R'_6[ML]$

$$\begin{array}{cc}
 M & L \\
 \left[ \begin{array}{cc}
 \{f_1, f_6\} & \{e_1\} \\
 \{f_2, f_3, f_4\} & \{e_2\} \\
 \{f_4, f_6\} & \{e_3\} \\
 \{f_9, f_{11}, f_{14}\} & \{e_6\} \\
 \{f_{10}, f_{13}\} & \{e_7\}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Данное ограничение несовместно по дугам, так как в первом столбце матрицы отсутствуют значения  $f_5, f_7, f_8, f_{12}$ , которые содержатся в домене переменной  $M$ . Согласно утверждению У3, домен атрибута  $M$  сужается до множества  $\{f_1, f_2, f_3, f_4, f_6, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{13}, f_{14}\}$ .

Теперь активируется ограничение  $R_5[ZM]$ , в схеме которого присутствует затронутая изменениями переменная  $M$ . После «настройки» ограничения  $R_5[ZM]$  на новый домен переменной  $M$  с использованием утверждения У4, имеем следующее упрощённое ограничение:

Отношение  $R'_5[ZM]$

Z	M
$\{c_1\}$	$\{f_1, f_2\}$
$\{c_2\}$	$\{f_3, f_4\}$
$\{c_3\}$	$\{f_6\}$
$\{c_4\}$	$\{f_9, f_{10}\}$
$\{c_5\}$	$\{f_{11}\}$
$\{c_6\}$	$\{f_{13}, f_{14}\}$

Процесс распространения ограничений останавливается. Имеем следующую упрощённую задачу CSP. Домены переменных:  $X - \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$ ,  $Y - \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9\}$ ,  $Z - \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6\}$ ,  $W - \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6\}$ ,  $L - \{e_1, e_2, e_3, e_6, e_7\}$ ,  $M - \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_6, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{13}, f_{14}\}$ .

Ограничения: матрицы  $R_1 - R_4$  остаются без изменений, а матрицы  $R_5$  и  $R_6$  заменяются матрицами  $R'_5$  и  $R'_6$ . Для упрощённой подзадачи CSP ( $R_3[WZ] \bowtie R_4[LW] \bowtie R'_5[ZM] \bowtie R'_6[ML]$ ) получим дерево поиска, показанное на рисунке 7.

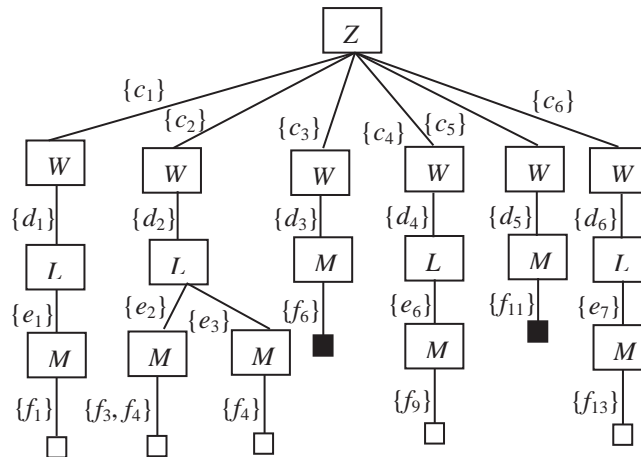


Рисунок 7 – Дерево поиска для упрощённой подзадачи CSP  $R_3[WZ] \bowtie R_4[LW] \bowtie R'_5[ZM] \bowtie R'_6[ML]$

Узлы дерева соответствуют переменным, выбираемым на каждом шаге поиска, а дуги помечены различными значениями данных переменных. Каждая ветвь дерева поиска оканчивается либо незакрашенным белым квадратом (случай, когда решение получено), либо квадратом, окрашенным в черный цвет (случай, когда выявлено противоречие и требуется осуществлять возврат к одной из родительских вершин данного узла). Если в дереве поиска у родительского узла имеется только один дочерний, то это означает, что значение переменных, соотнесенных с дочерним узлом, было получено в результате процедур распространения ограничений без организации процедур ветвления.



На основе представленного дерева поиска может быть выписана С-система  $R_8[ZWLM]$ , описывающая все решения подзадачи CSP:

	$Z$	$W$	$L$	$M$
1	$\{c_1\}$	$\{d_1\}$	$\{e_1\}$	$\{f_1\}$
2	$\{c_2\}$	$\{d_2\}$	$\{e_2\}$	$\{f_3, f_4\}$
3	$\{c_2\}$	$\{d_2\}$	$\{e_3\}$	$\{f_4\}$
4	$\{c_4\}$	$\{d_4\}$	$\{e_6\}$	$\{f_9\}$
5	$\{c_6\}$	$\{d_6\}$	$\{e_7\}$	$\{f_{13}\}$

Каждая строка С-системы соответствует некоторой нетупиковой ветви дерева поиска.

Для второй подзадачи CSP, а именно, для  $R_1[XY] \bowtie R_2[YZ]$ , оказывается, что она изначально совместна и в вершинах, и по дугам. Для данной задачи получим дерево поиска, показанное на рисунке 8.

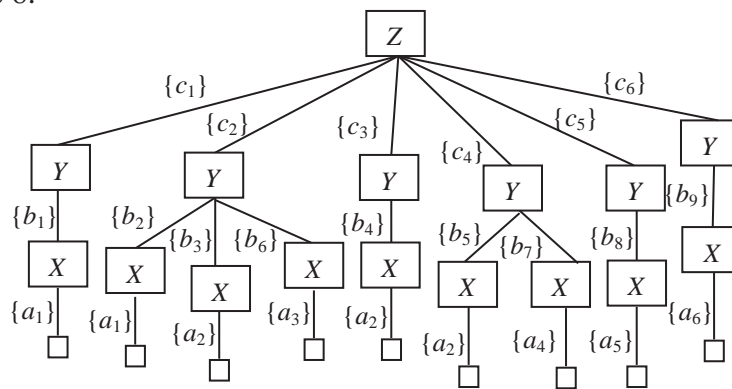


Рисунок 8 – Дерево поиска для подзадачи CSP  $R_1[XY] \bowtie R_2[YZ]$

На основе представленного дерева поиска может быть выписана С-система  $R_9[XYZ]$ :

	$X$	$Y$	$Z$
1	$\{a_1\}$	$\{b_1\}$	$\{c_1\}$
2	$\{a_1\}$	$\{b_2\}$	$\{c_2\}$
3	$\{a_2\}$	$\{b_3\}$	$\{c_2\}$
4	$\{a_3\}$	$\{b_6\}$	$\{c_2\}$
5	$\{a_2\}$	$\{b_4\}$	$\{c_3\}$
6	$\{a_2\}$	$\{b_5\}$	$\{c_4\}$
7	$\{a_4\}$	$\{b_7\}$	$\{c_4\}$
8	$\{a_5\}$	$\{b_8\}$	$\{c_5\}$
9	$\{a_6\}$	$\{b_9\}$	$\{c_6\}$

Совместно рассматривая ограничения  $R_8[ZWLM]$  и  $R_9[XYZ]$ , можно упростить  $R_9[XYZ]$ , исключив из этой матрицы те значения переменной  $Z$  (соответственно и те строки матрицы), которые отсутствуют в  $R_8[ZWLM]$ . Получаем следующее отношение  $R'_9[XYZ]$ :

	X	Y	Z
1	{a <sub>1</sub> }	{b <sub>1</sub> }	{c <sub>1</sub> }
2	{a <sub>1</sub> }	{b <sub>2</sub> }	{c <sub>2</sub> }
3	{a <sub>2</sub> }	{b <sub>3</sub> }	{c <sub>2</sub> }
4	{a <sub>3</sub> }	{b <sub>6</sub> }	{c <sub>2</sub> }
6	{a <sub>2</sub> }	{b <sub>5</sub> }	{c <sub>4</sub> }
7	{a <sub>4</sub> }	{b <sub>7</sub> }	{c <sub>4</sub> }
9	{a <sub>6</sub> }	{b <sub>9</sub> }	{c <sub>6</sub> }

Теперь вычислим  $R_8[ZWLM] \bowtie R'_9[XYZ]$ :

	X	Y	Z	W	L	M
{a <sub>1</sub> }	{b <sub>1</sub> }	{c <sub>1</sub> }	{d <sub>1</sub> }	{e <sub>1</sub> }	{f <sub>1</sub> }	
{a <sub>1</sub> }	{b <sub>2</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>2</sub> }	{f <sub>3</sub> , f <sub>4</sub> }	
{a <sub>1</sub> }	{b <sub>2</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>3</sub> }	{f <sub>4</sub> }	
{a <sub>2</sub> }	{b <sub>3</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>2</sub> }	{f <sub>3</sub> , f <sub>4</sub> }	
{a <sub>2</sub> }	{b <sub>3</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>3</sub> }	{f <sub>4</sub> }	
{a <sub>3</sub> }	{b <sub>6</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>2</sub> }	{f <sub>3</sub> , f <sub>4</sub> }	
{a <sub>3</sub> }	{b <sub>6</sub> }	{c <sub>2</sub> }	{d <sub>2</sub> }	{e <sub>3</sub> }	{f <sub>4</sub> }	
{a <sub>2</sub> }	{b <sub>5</sub> }	{c <sub>4</sub> }	{d <sub>4</sub> }	{e <sub>6</sub> }	{f <sub>9</sub> }	
{a <sub>4</sub> }	{b <sub>7</sub> }	{c <sub>4</sub> }	{d <sub>4</sub> }	{e <sub>6</sub> }	{f <sub>9</sub> }	
{a <sub>6</sub> }	{b <sub>9</sub> }	{c <sub>6</sub> }	{d <sub>6</sub> }	{e <sub>7</sub> }	{f <sub>13</sub> }	

Чтобы оценить сложность процедуры поиска решений для двух рассмотренных задач CSP, используем следующую меру – количество значений, участвующих в разметке дуг дерева поиска. Получаем следующие оценки: для первой подзадачи – 25, для второй подзадачи – 24 значения. Суммарная сложность – 49. Если бы исходная задача CSP, представленная на рисунке 4, решалась без применения методов структурной декомпозиции, то сложность решения была равна бы 57 (см. рисунок 9).

В данном случае выигрыш не столь существенен и составляет около 16%, но при решении практических задач большой размерности применение методов структурной декомпозиции позволяет решать те задачи, которые до этого были нереализуемы. К тому же разбиение исходной задачи на слабо связанные подзадачи обеспечивает возможность параллельного решения подзадач.

Для окончательного формирования отношения-заготовки, соответствующего разбираемому шаблону запроса, требуется вычислить проекцию отношения  $R_8[ZWLM] \bowtie R'_9[XYZ]$  на атрибуты X, M, L. Первый атрибут представляет собой параметр поискового запроса, а два оставшихся – целевые атрибуты поискового запроса.

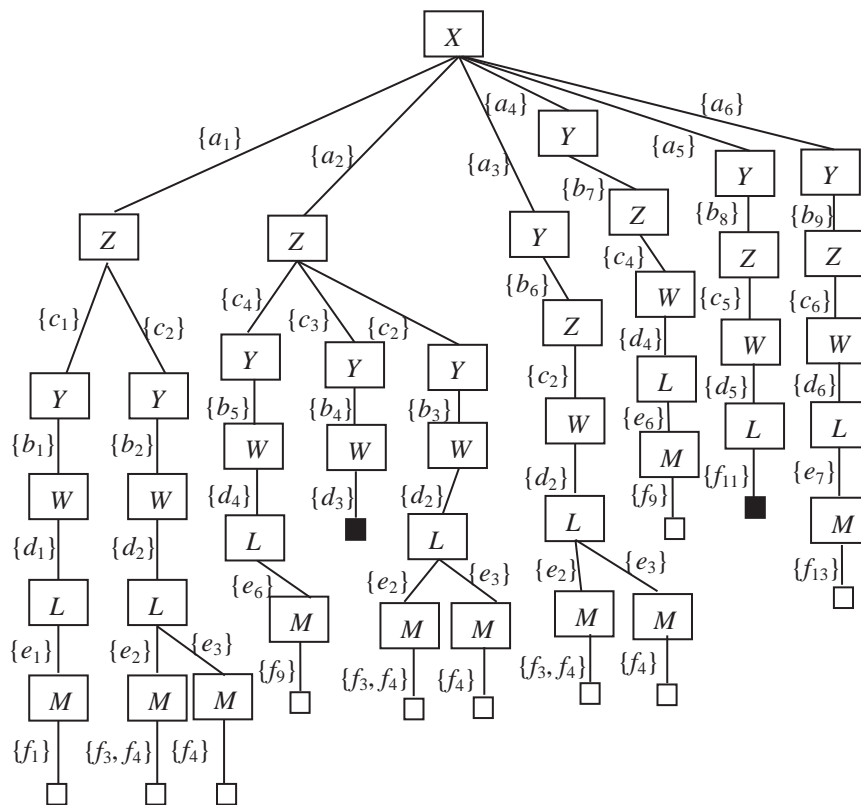


Рисунок 9 – Дерево поиска для исходной задачи CSP, решаемой без применения структурной декомпозиции

В нашем случае имеем следующее отношение-заготовку  $Pr_{XYZ}(R_8[ZWLM] \bowtie R'_9[XYZ])$ :

	X	M	L
$\left[ \begin{array}{ccc}$	$\{a_1\}$	$\{f_1\}$	$\{e_1\}$
$\left[ \begin{array}{ccc}$	$\{a_1, a_2, a_3\}$	$\{f_3, f_4\}$	$\{e_2\}$
$\left[ \begin{array}{ccc}$	$\{a_1, a_2, a_3\}$	$\{f_4\}$	$\{e_3\}$
$\left[ \begin{array}{ccc}$	$\{a_2, a_4\}$	$\{f_9\}$	$\{e_6\}$
$\left[ \begin{array}{ccc}$	$\{a_6\}$	$\{f_{13}\}$	$\{e_7\}$

При вычислении проекции было осуществлено «сжатие» результирующего отношения (алгоритмы «сжатия» здесь не приведены).

Анализируя полученное отношение-заготовку, нетрудно определить, что в ответ на конкретизированный пользовательский запрос «Какие выводы и о каких предметах исследования сделал исследователь Сухов?» (здесь значение параметра  $X$  равно  $a_6$ ) будет получен результат: Сухов получил «закл-ие25» (значение параметра  $M$  равно  $f_{13}$ ) о предмете исследования «Лазер» (значение параметра  $L$  равно  $e_7$ ). Данному результату соответствует последняя строка отношения-заготовки. Процесс вычисления ответа уже не требует анализа и хранения всех шести отношений  $R_1$ – $R_6$ , а сводится к анализу матрицы размерности  $5 \times 3$ .

### Заключение

В статье онтология рассматривается как совокупность отношений (унарных и бинарных), выраженных с помощью матрицеподобных структур – С-систем. Такое представление онто-

логии позволяет ставить и решать задачи вывода на онтологии как задачи CSP. В отличие от реляционных СУБД, ориентированных на поддержку ссылочной целостности интенсивно меняющихся данных фиксированного формата, RDF-репозитории не предполагают такой высокой скорости изменения их содержимого. Неформально говоря, базы данных предназначены для обработки данных, а системы онтологического инжиниринга – для работы со знаниями. При использовании онтологий нет необходимости оперировать такими атомарными структурами, как элементарный кортеж таблицы, а можно использовать более подходящие структуры для группирования и обобщения информации. «Компактное» представление отношений в виде совокупности *C*-систем обеспечивает снижение расходов памяти на хранение онтологии, а также способствует ускорению процедур вывода на онтологии.

Рассмотренная в работе задача априорного анализа и упрощения структуры SPARQL-запросов решается для онтологий, которые разработаны с применением онтологических паттернов содержания, что обеспечивает предсказуемость структуры потенциальных запросов. Фактически, каждому паттерну сопоставляется совокупность шаблонов SPARQL-запросов.

Предлагаемый в статье метод априорного анализа и преобразования шаблонов SPARQL-запросов основан на совместном применении методов структурной декомпозиции и методов удовлетворения нечисловых ограничений. Применение методов структурной декомпозиции даёт возможность разбивать шаблон SPARQL-запроса на части, распараллеливать выполнение подзадач, что особенно актуально при обращении к RDF-репозиториям большого объёма. Декомпозиция общей задачи CSP на подзадачи обычно выполняется таким образом, чтобы для получения решений каждой подзадачи CSP требовалось применить лишь алгоритмы распространения ограничений, характеризующиеся низкой вычислительной сложностью.

Ввиду низкой частоты модификаций RDF-репозитория, появляется возможность на основе анализа шаблонов подготавливать структуры данных для последующего исполнения конкретизированных запросов. Если в процессе такой подготовки для одной из подзадач (подшаблонов) выяснится, что в RDF-репозитории нет релевантной информации, то весь шаблон SPARQL-запроса признаётся некорректным. Если для всех подзадач подобная подготовка проходит успешно, то формируется результирующее «отношение-заготовка» – *C*-система, которая в дальнейшем используется при исполнении конкретных запросов. Это позволяет избежать излишних «накладных расходов», вызванных многократным выполнением операции соединения одних и тех же отношений при обработке пользовательских запросов, описываемых общим шаблоном.

Для соединения отношений, выраженных в виде совокупности *C*-систем, применяются авторские методы удовлетворения нечисловых ограничений. Они представляют собой модификацию известных методов достижения совместности в вершинах и по дугам на случай, когда качественные ограничения выражены в виде совокупности упомянутых матрицеподобных структур. По сравнению с традиционным подходом к вычислению соединений отношений при обработке SPARQL-запросов, базирующемся на динамическом программировании, предложенные методы обеспечивают существенное ускорение обработки отношений.

Предлагаемый подход к представлению онтологии, а также к организации процедур вывода на онтологиях, позволяет снизить расход памяти на хранение онтологии и обеспечить приемлемую скорость выполнения SPARQL-запросов даже для RDF-репозиторий, характеризующихся большими объёмами информации.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (16-07-00377-а, 16-07-00562-а, 18-07-00615-а).



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Зуенко, А.А.** Применение методов распространения ограничений для ускорения обработки запросов к онтологиям / А.А. Зуенко, П.А. Ломов, А.Г. Олейник // Труды СПИИРАН. - 2017. - №1(50). - С.112–136.
- [2] *Ontology of Integrated Knowledge Space.* - <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space>.
- [3] **Blomqvist, E.** Experimenting with eXtreme Design / E. Blomqvist, V. Presutti, E. Daga, A. Gangemi // In proceedings of EKAUW 2010, LNCS 6317. Springer 2010. Berlin/Heidelberg/New York. - P. 120–134.
- [4] **Russel, S.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd edition / S. Russel, P. Norvig / Prentice Hall, 2010. - 1132 p.
- [5] **Bartak, R.** Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail / R. Bartak // Proceedings of the Week of Doctoral Students (WDS99), Part IV. – Prague: MatFyzPress, 1999. - P. 555–564.
- [6] **Ruttikay, Zs.** Constraint satisfaction a survey / Zs. Ruttikay // CWI Quarterly. - 1998. - V. 11. - P.163–214.
- [7] **Barto, L.** Constraint satisfaction problems solvable by local consistency methods / L. Barto, M. Kozik // Journal of the ACM. - 2014. - 61(1), article 3. - P.1–19.
- [8] **Cheng, K.C.** An MDD-based generalized arc consistency algorithm for positive and negative table constraints and some global constraints / K.C. Cheng, R.H. Yap // Constraints. - 2010. - 15 (2). - P.265–304.
- [9] **Mackworth, A.K.** Consistency in networks of relations / A.K. Mackworth // Artificial Intelligence. - 1977. - 8(1)/ - P.99–118.
- [10] **Mackworth, A.K.** Arc and path consistency revised / A.K. Mackworth, E.C. Freuder // Artificial Intelligence. - 1985. - 25. - P.65–74.
- [11] **Gottlob, G.** A comparison of structural CSP decomposition methods / G. Gottlob, N. Leone, F. Scarcello // Artificial Intelligence. - 2000. - 124(2). - P.243–282.
- [12] **Katajainen J.** Performance tuning an algorithm for compressing relational tables / J. Katajainen, J.N. Madsen // In Proceedings of the 8th Scandinavian Workshop on Algorithm Theory. Volume 2368 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002. - P.398–407.
- [13] **Miguel, I.** Solution techniques for constraint satisfaction problems: foundations / I. Miguel, Q. Shen // Artificial Intelligence Review. - 2001. - V. 15. - P.241–265.
- [14] **Dechter, R.** Enhancement schemes for constraint processing: Backjumping, learning and cutset decomposition / R. Dechter // Artificial Intelligence. - 1990. - V. 41. - P.273–312.
- [15] **Dechter, R.** Network-based heuristics for constraint satisfaction problems / R. Dechter, J. Pearl // Artificial Intelligence. - 1987. - 34(1). - P.1–38.
- [16] **Freuder, E.C.** A sufficient condition for backtrack-free search / E.C. Freuder // Journal of the ACM. - 1982. - 29(1). - P.24–32.
- [17] **Dechter, R.** Tree clustering for constraint networks / R. Dechter, J. Pearl // Artificial Intelligence. 1989. 38 (3). - P.353–366.
- [18] **Freuder, E.C.** A sufficient condition for backtrack-bounded search / E.C. Freuder // Journal of the ACM. - 1985. 32(4). - P.755–761.
- [19] **Кулик, Б.А.** Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 235 с.
- [20] **Zakrevskij, A.** Integrated Model of Inductive-Deductive Inference Based on Finite Predicates and Implicative Regularities. / A. Zakrevskij // In: Naidenova, X., Ignatov, D. (eds.) Diagnostic Test Approaches to Machine Learning and Commonsense Reasoning Systems.- Hershey, PA: IGI Global, 2013. P.1-12.
- [21] **Зуенко, А.А.** Качественное моделирование технических систем на основе методов распространения ограничений / А.А. Зуенко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем - Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): Материалы VI Международной научно-технической конф. (18-20 февраля 2016 г., Минск, Беларусь). – Минск: БГУИР, 2016.- С.573–578.
- [22] **Зуенко, А.А.** Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов / А.А. Зуенко // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2014. - № 3. - С.21–31.
- [23] **Зуенко, А.А.** Методы ускорения комбинаторного поиска на основе матричного представления качественных зависимостей в задачах удовлетворения ограничений / А.А. Зуенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 7.(138). С.69–87.
- [24] **Zuenko, A.A.** Matrix-Like Structures in Solution of Constraint Satisfaction Problems / A.A. Zuenko // 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (18-25 Aug. 2018, Vladivostok, Russia). IEEE. - DOI: 10.1109/RPC.2018.8482223.

## COMBINING OF METHODS OF CONSTRAINT PROPAGATION AND STRUCTURAL DECOMPOSITION FOR THE A PRIORI ANALYSIS OF QUERIES TO THE ONTOLOGIES

A.A. Zuenko<sup>1</sup>, P.A. Lomov<sup>2</sup>

*Institute for Informatics and Mathematical Modeling – Subdivision of the Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS)*

<sup>1</sup>zuenko@iimm.ru, <sup>2</sup>lomov@iimm.ru

### Abstract

Unlike relational DBMS that focused on maintaining of the referential integrity of rapidly changing transactional data, while using of RDF repositories which are storages for ontologies, there is no need to operate with such atomic structures as a tuple and you can use more suitable structures for grouping and summarizing of information. The article considers ontology as a set of relations (unary and binary), which are represented by specialized matrix-like structures – C-systems. That allows us to consider tasks of inference on ontologies as constraint satisfaction problems. The problem of a priori analysis and simplification of the SPARQL queries, considered in the article, is solved for ontologies that are developed using content ontology design patterns, which ensures the predictability of the structure of potential queries. In fact, each pattern is associated with a set of patterns of SPARQL queries. A method of a priori analysis and transformation of SPARQL queries patterns into a form, which speeds up the subsequent execution of concrete user queries has been developed. The method is based on the combining of the methods of structural decomposition and the author's methods for non-numeric constraints satisfaction. The structural decomposition methods make it possible to split the SPARQL query pattern into parts and parallelize its execution, which is especially important when accessing large volume RDF repositories. Due to the low frequency of modifications of the RDF repository, it is possible, based on the analysis of templates, to prepare data structures for the subsequent execution of concrete queries. This allows you to avoid unnecessary overhead incurred by repeated execution of the operation of joining the same relations when processing user requests described by a common pattern. For the join of relations, expressed as a set of C-systems, author's methods of non-numeric constraints satisfaction are applied, which are modifications of the known methods of maintaining node and arc consistency. As a result, the proposed approach to the ontology presentation and organization of inference procedures on ontologies allows to reduce the memory consumption and to ensure an acceptable speed of execution of SPARQL queries even for RDF repositories containing large amounts of data.

**Key words:** *ontology, ontological design patterns, constraint satisfaction problem, constraint programming, SPARQL, RDF repository.*

**Citation:** *Zuenko AA., Lomov PA. Combining of methods of constraint propagation and structural decomposition for the a priori analysis of queries to the ontologies. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 571-593. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-571-593.*

### Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (16-07-00377-a, 16-07-00562-a, 18-07-00615-a).

### References

- [1] **Zuenko AA, Lomov PA, Oleinik AG.** Application of constraint propagation techniques to speed up processing of queries to ontologies [In Russian]. – SPIIRAS Proceedings. 2017; 1(50): 112–136.
- [2] **Ontology of Integrated Knowledge Space.** - <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space>.
- [3] **Blomqvist E, Presutti V, Daga E, Gangemi A.** Experimenting with eXtreme Design. In proceedings of EKAW 2010, LNCS 6317. Springer 2010. Berlin/Heidelberg/New York; 2010: 120–134.
- [4] **Russel S, Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd edition. Prentice Hall; 2010.
- [5] **Bartak R.** Constraint Programming: In Pursuit of the Holy Grail. Proceedings of the Week of Doctoral Students (WDS99), Part IV. – Prague: MatFyzPress; 1999: 555–564.

- [6] *Rutkay Zs.* Constraint satisfaction a survey. *CWI Quarterly*. 1998; 11: 163–214.
- [7] *Barto L, Kozik M.* Constraint satisfaction problems solvable by local consistency methods. *Journal of the ACM*. 2014; 61(1), article 3: 1–19.
- [8] *Cheng KC, Yap RH.* An MDD-based generalized arc consistency algorithm for positive and negative table constraints and some global constraints. *Constraints*. 2010; 15 (2): 265–304.
- [9] *Mackworth AK.* Consistency in networks of relations. *Artificial Intelligence*. 1977; 8(1): 99–118.
- [10] *Mackworth AK, Freuder EC.* Arc and path consistency revised, *Artificial Intelligence*. 1985; 25: 65–74.
- [11] *Gottlob G, Leone N, Scarcello F.* A comparison of structural CSP decomposition methods. *Artificial Intelligence*. 2000; 124(2): 243–282.
- [12] *Katajainen J, Madsen JN.* Performance tuning an algorithm for compressing relational tables. In *Proceedings of the 8th Scandinavian Workshop on Algorithm Theory*, volume 2368 of LNCS, Springer-Verlag; 2002: 398–407.
- [13] *Miguel I, Shen Q.* Solution techniques for constraint satisfaction problems: foundations. *Artificial Intelligence Review*. 2001; 15: 241–265.
- [14] *Dechter R.* Enhancement schemes for constraint processing: Backjumping, learning and cutset decomposition. *Artificial Intelligence*. 1990; 41: 273–312.
- [15] *Dechter R, Pearl J.* Network-based heuristics for constraint satisfaction problems. *Artificial Intelligence*. 1987; 34(1): 1–38.
- [16] *Freuder EC.* A sufficient condition for backtrack-free search. *Journal of the ACM*. 1982; 29(1): 24–32.
- [17] *Dechter R, Pearl J.* Tree clustering for constraint networks. *Artificial Intelligence*. 1989; 38(3): 353–366.
- [18] *Freuder EC.* A sufficient condition for backtrack-bounded search. *Journal of the ACM*. 1985; 32(4): 755–761.
- [19] *Kulik BA, Zuenko AA, Fridman AY.* Algebraic approach to intelligent processing of data and knowledge [In Russian]. – St. Petersburg Polytechnic University Publishing House, 2010. -235 p.
- [20] *Zakrevskij A.* Integrated Model of Inductive-Deductive Inference Based on Finite Predicates and Implicative Regularities. In: Naidenova, X., Ignatov, D. (eds.) *Diagnostic Test Approaches to Machine Learning and Commonsense Reasoning Systems*.– Hershey, PA:IGI Global; 2013: 1–12.
- [21] *Zuenko AA.* Qualitative modeling of technical systems based on the propagation methods [In Russian]. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): VI Intern. scientific-tech. Conf. (18-20 February, 2016, Minsk, Belarus) - Minsk: BSUIR; 2016: 573–578.*
- [22] *Zuenko AA.* Constraint inference based on the matrix representation of finite predicates [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2014; 3: 21–31.
- [23] *Zuenko AA.* Methods for accelerating combinatorial search based on matrix representation of qualitative relationships in constraint satisfaction problems [In Russian]. *Publishers of Irkutsk National Research Technical University*. 2018; 22(7): 69–87.
- [24] *Zuenko AA.* Matrix-Like Structures in Solution of Constraint Satisfaction Problems/ 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) (18-25 August 2018, Vladivostok, Russia). *IEEE; 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482223.*

## Сведения об авторах



*Зуенко Александр Анатольевич*, 1983 г.р., кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Области научных интересов: программирование в ограничениях; моделирование слабо формализованных предметных областей.

*Alexander Anatolievich Zuenko*, (b. 1983) PhD, a senior researcher of Institute for Informatics and Mathematical Modeling – Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (IIMM KSC RAS). Research interests: constraint programming; poorly formalized subject domains modeling.



*Ломов Павел Андреевич*, 1984 г.р., к.т.н., с.н.с. Института информатики и математического моделирования – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук». Области научных интересов: представление знаний, онтологическое моделирование, Semantic web, информационная безопасность.

*Pavel Andreevich Lomov*, (b. 1984) PhD, a senior researcher of Institute for Informatics and Mathematical Modeling – Subdivision of the Federal Research Centre IIMM KSC RAS. Research interests: knowledge representation, ontological modeling, Semantic web.

УДК 004.82

## ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ИНТЕГРАЦИИ НЕЧЁТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И НЕЧЁТКИХ ОНТОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Г. Ярушкина<sup>1</sup>, В.С. Мошкин<sup>2</sup>, Г.Р. Ишмуратова<sup>3</sup>, И.А. Андреев<sup>4</sup>, И.А. Мошкина<sup>5</sup>

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

<sup>1</sup>jng@ulstu.ru, <sup>2</sup>v.moshkin@ulstu.ru, <sup>3</sup>geliya94@mail.ru, <sup>4</sup>ares-ilya@yandex.ru, <sup>5</sup>i.timina@ulstu.ru

### Аннотация

В работе исследована методика построения нечётких онтологий, а также разработана онтологическая модель оценки состояния вертолётных агрегатов. В статье приведено формальное описание нечётких онтологий и особенностей представления элементов нечётких аксиом в нотации FuzzyOWL. Согласно предложенному подходу, резюмирование состояния сложной технической системы осуществляется посредством логического вывода на базе нечёткой онтологии, объекты, свойства и аксиомы которой определяют параметры функций принадлежности и лингвистические переменные объектов анализа, представленных в виде временных рядов. Разработан программный продукт, обеспечивающий реализацию предложенного подхода. Проведены эксперименты по поиску аномальных ситуаций и поиску возможных неисправных вертолётных агрегатов с использованием разработанного подхода к интеграции нечётких временных рядов и нечёткой онтологии. Впервые получены результаты логического вывода знаний на основе интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий в задачах анализа диагностики сложных технических систем. Предложенный подход интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий позволил достоверно распознать аномальные ситуации и найти возможные неисправные агрегаты, соответствующие каждой аномальной ситуации.

**Ключевые слова:** нечёткие временные ряды, нечёткая онтология, Fuzzy OWL, резюмирование

**Цитирование:** Ярушкина, Н.Г. Применение способа интеграции нечётких временных рядов и нечётких онтологий в задачах диагностики технических систем / Н.Г. Ярушкина, В.С. Мошкин, Г.Р. Ишмуратова, И.А. Андреев, И.А. Мошкина // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.594-604. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-594-604.

### Введение

Неопределённость и неполнота информации – неотъемлемая часть сложных организационно-технических систем, в которых качество функционирования процессов зависит от человека. При анализе, моделировании и проектировании таких систем большое распространение получили экспертные системы, которые используют оценки, основанные на опыте и знаниях эксперта.

Экспертные оценки – это лингвистическая форма какого-либо качественного аспекта оцениваемого элемента системы или самой системы.

Методология логического вывода экспертных оценок на базе предметных онтологий, играющих роль базы знаний в системах поддержки принятия решений (СППР), применяется в различных предметных областях (ПрО), в том числе в области ситуационного управления в энергетике [1], при проектировании сложных диагностических систем [2] и др. Также онтологии нашли применение в качестве базы знаний интеллектуальных систем предупреждения рискованных ситуаций в условиях разнородной информации для этапа проектирования сложных технических систем критической инфраструктуры [3].



Несмотря на широту применения, классические языки онтологии и семантических сетей, которые обычно используются для резюмирования и характеристики особенностей ПрО, не могут быть использованы при раскрытии неопределённости и неточности в знаниях, присущих большинству приложений реального мира в рассматриваемой области.

Нечёткая теория множеств, также как и нечёткая логика – формализмы, подходящие для обработки неполных знаний. Одно из самых эффективных решений представления базы знаний в контексте учёта нечёткости и неопределённости в человеческих рассуждениях и оценках в СППР – представление в виде нечётких онтологий. Так, нечёткие онтологии применяются в таких системах, как: системы диагностики заболеваний [4], нечёткие поисковые системы [5], системы знаний, основанные на групповом принятии решений о важности данных [6] и др. В большинстве случаев такие системы оперируют фактами, объектами или терминами, которые описаны естественным языком и содержат особенности рассматриваемой ПрО.

Нечёткие временные ряды (НВР) – это способ получения экспертных оценок, удовлетворяющих условиям полноты, непротиворечивости и адекватности [7]. Одной из основных областей приложений НВР является диагностика процессов. Диагностикой называется процесс, при котором происходит поиск проблем в системе: дефектов, аномалий, неисправностей. При решении задач диагностики сложных технических систем, состояние которых определяется набором данных в виде НВР, целесообразно применять методы сравнения динамики процессов с ожидаемой или требуемой динамикой.

В связи с этим, актуальной задачей, требующей системного решения, является интерпретация полученных результатов анализа в виде экспертных оценок. Для резюмирования результатов, полученных при анализе НВР обычно применяется система правил, которые хранятся в базе знаний экспертной системы. Базой знаний при решении данной задачи выступают онтологии и подобные им графовые формы представления и хранения знаний, которые позволяют учитывать семантические особенности объекта указанной ПрО, а не только их логический вывод [8, 9].

Интерпретирование извлеченных сопоставлений в виде экспертных оценок, значения которых представлены в виде смысловых единиц, которые соответствуют некоторым классам нечёткой онтологии, учитывающих отклонения между текущим и требуемым НВР, могут быть получены при решении задачи интеграции НВР и нечёткой онтологии. Целью данной работы является разработка алгоритмов и моделей интеграции нечётких онтологий и НВР в задачах диагностики сложных технических систем.

## 1 Нечёткие временные ряды и модель нечёткой онтологии

Модели, а также алгоритмы анализа и прогнозирования НВР подробно описаны в работах [10, 11]. Базовой нотацией представления нечёткой онтологии является стандарт FuzzyOWL [12-14]. В общем виде любая FuzzyOWL-онтология может быть представлена следующим образом:

$$(1) \quad I = (I_f, C_f, P_f, A_f, D_f, Q_f, L_f, Mod_f),$$

где

- $I_f$  – множество объектов классов онтологии;
- $C_f$  – множество нечётких классов онтологии:

$$(2) \quad C_f = \{C_f^A, C_f^C\},$$

где  $C_f^A$  – множество абстрактных классов,  $C_f^C$  – множество конкретных классов онтологии.

- $P_f$  – множество свойств объектов:

$$(3) \quad P_f = \{P_f^A, P_f^C\},$$

где  $P_f^A$  множество конкретных свойств, т.е. свойств объектов (ObjectProperty),  $P_f^C$  - множество абстрактных свойств, т.е. свойств типа данных (DatatypeProperty).

▪  $D_f$  — множество аксиом онтологии:

$$(4) \quad D_f = \{A_f^{ABox}, A_f^{TBox}, A_f^{RBox}\},$$

где  $A_f^{ABox}$  — множество утверждений об индивидах,  $A_f^{TBox}$  — множество терминологических аксиом,  $A_f^{RBox}$  - множество аксиом отношений (иерархия отношений). Часть аксиом может быть подклассом множества нечётких аксиом, которые предполагают истинность утверждения с определённой степенью.

▪  $O_f$  — множество значений степеней, которые могут быть добавлены к объекту нечёткой аксиомы:

$$(5) \quad O_f = \{LD_f, MD_f, ND_f, Var_f\},$$

где  $LD_f$  — множество лингвистических переменных,  $MD_f$  — множество степеней модификации,  $ND_f$  — множество численных значений степеней,  $Var_f$  — множество переменных.

▪  $L_f$  — множество операторов нечётких логик соответствующих типов:

$$(6) \quad L_f = \{L_f^{Luk}, L_f^{Zad}, L_f^{Goed}, L_f^{Prod}\},$$

где  $L_f^{Luk}$  - множество операторов логики Лукасевича,  $L_f^{Zad}$  - множество операторов логики Заде,  $L_f^{Goed}$  - множество операторов логики Геделя,  $L_f^{Prod}$  — множество операторов продукционной логики. Определяются с помощью встроенного отношения *hasSemantics*.

▪  $Mod_f$  — множество «нечётких модификаторов», т.е. функций модификации функций принадлежности, нечётких классов и нечётких отношений. Функции могут быть линейными или треугольными [15]. В таблице 1 приведены элементы нечётких аксиом FuzzyOWL, а также их возможное представление.

Таблица 1 - Элементы нечётких аксиом в FuzzyOWL

№	Элемент	Возможные значения	Представление в FuzzyOWL
1	$LD_f$ — множество лингвистических значений степеней	«рост», «спад», «высокий», «низкий»	<AnnotationAssertion> <AnnotationProperty IRI="#fuzzyLabel"/> <IRI#ВысокаяНагрузка</IRI> <Literal datatypeIRI="&rdof;PlainLiteral">fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype"; Datatype type="rightshoulder"; a="15.0"; b="30.0"/>fuzzyOwl2</Literal> </AnnotationAssertion>
2	$MD_f$ — множество степеней модификации	«очень», «быстрый», «медленный»	type="modified" modifier="очень"
3	$ND_f$ — множество численных значений степеней	$0 \leq ND \leq 1$	Degree Value=0,6
4	$Var_f$ — множество переменных	a, b, c, k1, k2	b="30.0";
5	$L_f$ — множество операторов нечётких логик соответствующих типов	Zadeh, Lukasiewicz Goedel and Product	hasSemantics="Zadeh"
6	$Mod_f$ — множество нечётких модификаторов	Linear, Triangular	<Datatype type="triangular" a="32.0" b="41.0" c="50.0" />

## 2 Предметная область

Рассмотрим применение подхода интеграции НВР и нечётких онтологий при решении задачи диагностики состояния вертолёта. Диагностика вертолёта заключается в проверке его агрегатов с целью установления их исправности и возможности эксплуатации вертолёта в целом. Результатом проведения диагностики будет оценка значений ключевых показателей физических величин. Основная цель – оценить опасность значений. Для решения этой задачи необходимо построить модели поведения выбранных узлов и с помощью моделей делать заключения об исправности узлов. Модели построены в виде экспертной базы суждений о поведении того или иного компонента. Для построения НВР были определены параметры функций принадлежности (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Параметры функции принадлежности

Физический параметр	Границы диапазона	Опасно мало	Мало	Норма	Велико	Опасно велико
Температура выхлопных газов двигателя, °С	0-1000	a<100 b=200 c=200,5	a=100 b=275 c=350,5	a=350 b=560 c=600,5	a=600 b=700 c=720,5	a=720 b=800 c>1000
Температура масла в двигателе, °С	0-150	a<0 b=5 c=10,5	a=10 b=15 c=20,5	a=20 b=30 c=60,5	a=80 b=100 c=120,5	a=120 b=135 c>150
Давление масла в двигателе, кгс/см <sup>2</sup>	0-20	a<0 b=1 c=2,05	a=2,0 b=3,5 c=5,05	a=5,00 b=8 c=10,5	a=10 b=12 c=15,5	a=15,2 b=17,5 c>20
Температура масла главного редуктора, °С	0-100	a<0 b=5 c=10,5	a=10 b=15 c=20,5	a=20 b=35 c=50,5	a=50 b=70 c=80,5	a=80 b=90 c>100
Давление масла главного редуктора, кгс/см <sup>2</sup>	0-8	a<0 b=1 c=2,05	a=2,0 b=2,5 c=3,5	a=3,45 b=4 c=4,55	a=4,50 b=5 c=7,55	a=7,5 b=7,8 c>8

Таким образом, для каждой физической величины определено по 5 нечётких меток. Задача анализа технических рядов сводится к задаче поиска аномальных ситуаций в ВР показателей физических величин главного редуктора (ГР) и силовой установки (СУ) двигателя. Анализ представляет собой последовательность следующих шагов:

- 1) формирование НВР на основе полученной информации о значениях ключевых физических величин после полёта вертолёта;
- 2) поиск известных аномальных ситуаций в полученных НВР;
- 3) определение корректности работы узлов. Работа будет считаться некорректной в случае обнаружения хотя бы одной аномальной ситуации.

Для проведения экспериментов была разработана нечёткая онтология. Разработанная FuzzyOWL-онтология имеет иерархическую структуру и включает в себя 55 классов, 8 объектных свойств, 40 типов данных. В ходе выполнения работы были выделены следующие свойства объектов, представленные в таблице 3 (ДМ-давление масла, ГР - главный редуктор, ТВГ – температура выхлопных газов, ТМ-температура масла).

Пример объявления свойства «имеетДМГР»

```

<SubObjectPropertyOf>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <ObjectProperty IRI="owl:topObjectProperty"/>
</SubObjectPropertyOf>
<ObjectPropertyDomain>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <Class IRI="#ГлавныйРедуктор"/>

```

```

</ObjectPropertyDomain>
<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#имеетДМГР"/>
  <Class IRI="#ДавлениеМаслаГР"/>
</ObjectPropertyRange>

```

Таблица 3 - Свойства объектов

Свойство	Домен	Диапазон
имеет ДМ ГР	ГР	ДМ ГР
имеет ДМ левого двигателя	СУ двигателя	ДМ СУ двигателя
имеет ДМ правого двигателя	СУ двигателя	ДМ СУ двигателя
имеет ТВГ левого двигателя	СУ двигателя	ТВГ СУ двигателя
имеет ТВГ правого двигателя	СУ двигателя	ТВГ СУ двигателя
имеет ТМ ГР	ГР	ТМ ГР
имеет ТМ левого двигателя	СУ двигателя	ТМ СУ двигателя
имеет ТМ правого двигателя	СУ двигателя	ТМ СУ двигателя

Помимо этого, было выделено 40 типов данных: по 5 нечётких меток, на 8 вариантов отношений. Параметры типов данных соответствуют параметрам функции принадлежности. Тип функции принадлежности во всех типах данных был выбран треугольный.

Пример объявления типа данных в нотации FuzzyOWL:

```

<AnnotationAssertion>
<AnnotationProperty IRI="#fuzzyLabel"/>
<IRI#ВеликоДМГР</IRI>
  <Literal datatypeIRI="&rdf;PlainLiteral">
    <fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype">
      <Datatype type="triangular" a="4.50" b="5" c="7.5" />
    </fuzzyOwl2>
  </Literal>
</AnnotationAssertion>

```

В качестве объекта экспериментов были исследованы временные ряды для диагностики вертолётных агрегатов и нечёткая онтология конструкции вертолётных агрегатов. В процессе проведения данных экспериментов были использованы алгоритмы интеграции НВР и нечётких онтологий.

### 3 Эксперименты

Для проверки адекватности алгоритма интеграции НВР и нечёткой онтологии на основе FuzzyOWL, а также корректности работы программного продукта, реализующего данный алгоритм, был проведён ряд экспериментов, в рамках которых были возможные проблемные ситуации. В рамках эксперимента были проведены следующие действия:

Экспертом была разработана нечёткая онтология по стандарту FuzzyOWL. Для построения нечёткой онтологии был использован редактор Protégé [16] с подключённым плагином FuzzyOWL Plugin [17]. Фрагмент онтологии представлен на рисунке 1.

Типы данных в нечёткой онтологии FuzzyOWL содержат параметры функций принадлежности, а также привязку к конкретному классу онтологии (Таблица 4).

Задача проведённых экспериментов - это поиск возможных неисправных агрегатов вертолёта. Анализ представляет последовательность следующих шагов:

- 1) формирование НВР на основе полученной информации о значениях ключевых физических величин после прогона машины;
- 2) поиск неисправных агрегатов вертолёта в полученных ВР;
- 3) определение неисправных вертолётных агрегатов.



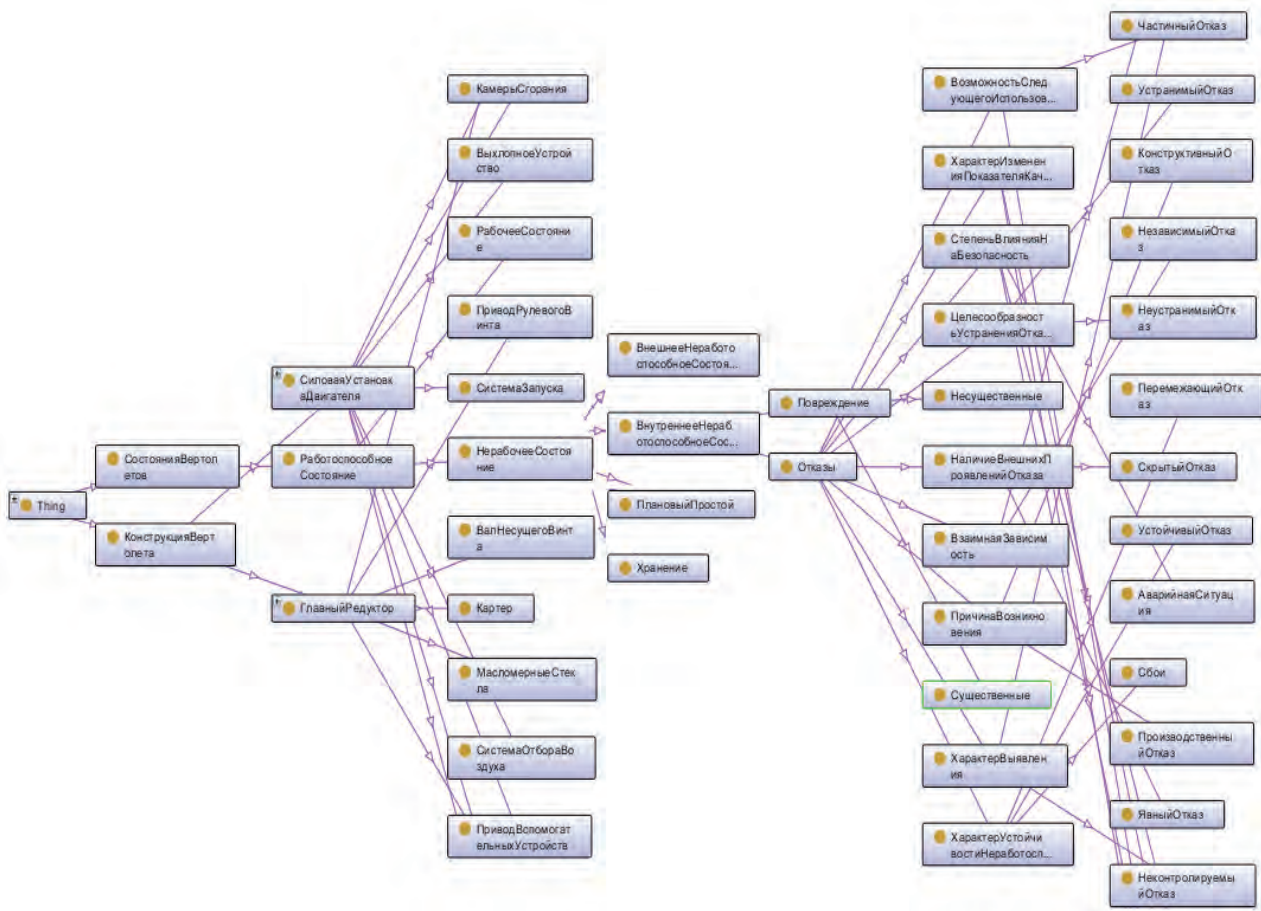


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии анализа диагностики основных агрегатов вертолета

Таблица 4 - Таблица описания типов данных

Тип данных	Тип функции принадлежности	Связанный класс	a	b	c
ОпасноМалоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	100	200	200,5
МалоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	200	275	350,5
НормаТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	350	560	600,5
ВеликоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	600	700	720,5
ОпасноВеликоТВГЛевДвигателя	треугольная	СУ двигателя	720	800	1000
ОпасноМалоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	0	1	2,05
МалоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	2,0	2,5	3,5
НормаДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	3,45	4	4,55
ВеликоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	4,5	5	7,55
ОпасноВеликоДМГлавногоРедуктора	треугольная	ГР	7,5	7,8	8

Вертолётный агрегат будет считаться неисправным в случае обнаружения хотя бы одной аномальной ситуации для физической величины, привязанной к конкретному классу онтологии, соответствующему данному неисправному агрегату.

Эффективность алгоритма диагностики технических систем может быть оценена при решении задачи моделирования поведения вертолётных агрегатов. Система должна правильно выявлять возможные неисправные вертолётные агрегаты. Для подтверждения эффективности необходимо проанализировать данные, характеризующие машины, как без дефектов, так и с возможными дефектами, после чего проанализировать информацию о не-

исправных агрегатах, полученную системой и полученную от эксперта. Для эксперимента были получены данные о прогоне трёх машин, сгенерированы данные, моделирующие те или иные аномальные ситуации. Описание рядов приведено в таблице 5.

Таблица 5 - Описание временных рядов

№ ряда	№ борта	Период	TvG1	TvG2	Pm1	Pm2	Pmp	Tm1	Tm2	Tmp
1	210111	15.09.2010	739,59	258,85	2,3	0,8	0	58,1	59,2	29,3
2	210111	16.09.2010	757,29	256,93	2,4	0,8	0	57,1	59	29,3
3	210111	30.09.2010	503	227,78	7,4	0,8	1,8	47,5	51,3	29
4	210111	12.04.2012	536,85	520,93	7,6	6,6	4	53,9	56,5	35
5	240111	11.09.2014	176,43	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3
6	240111	12.09.2014	176,57	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3
7	240111	13.11.2016	483	448,85	6,4	5,6	3,4	49,5	51,9	23,5
8	240111	11.08.2017	479,13	0	6,4	5,4	3,3	51,6	55,1	29
9	250111	22.01.2016	189,72	206,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5
10	250111	23.01.2016	193,3	209,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5

Приняты следующие обозначения: TvG1- температура выхлопных газов левого двигателя, TvG2- температура выхлопных газов правого двигателя, Pm1 – давление масла левого двигателя, Pm2 – давление масла правого двигателя, Tm1 – температура масла левого двигателя, Tm2 – температура масла правого двигателя, Pmp – давление масла ГР, Tmp – температура масла ГР. Были проведены эксперименты с десятью рядами, результаты которых приведены в таблице 6. Как видно из результатов экспериментов, построение нечёткой онтологии НВР позволило сделать вывод о неисправности агрегата вертолёта при анализе чётких значений показателей агрегатов.

Таблица 6 - Результаты экспериментов

№ борта	Период	TvG1	TvG2	Pm1	Pm2	Pmp	Tm1	Tm2	Tmp	Неисправный агрегат
210111	15.09.2010	739,59	258,85	2,3	0,8	0	58,1	59,2	29,3	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	16.09.2010	757,29	256,93	2,4	0,8	0	57,1	59	29,3	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	30.09.2010	503	227,78	7,4	0,8	1,8	47,5	51,3	29	#СиловаяУстановкаДвигателя
210111	12.04.2012	536,85	520,93	7,6	6,6	4	53,9	56,5	35	Неисправных агрегатов нет
240111	11.09.2014	176,43	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3	#ГлавныйРедуктор
240111	12.09.2014	176,57	178	0,8	0,8	0	42,5	46	31,3	#ГлавныйРедуктор
240111	13.11.2016	483	448,85	6,4	5,6	3,4	49,5	51,9	23,5	Неисправных агрегатов нет
240111	11.08.2017	479,13	0	6,4	5,4	3,3	51,6	55,1	29	#ГлавныйРедуктор
250111	22.01.2016	189,72	206,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5	#СиловаяУстановкаДвигателя
250111	23.01.2016	193,3	209,22	0,8	1	1,6	52,5	55,5	24,5	#ГлавныйРедуктор

## Заключение

В работе исследована методика построения нечётких онтологий и разработана онтологическая модель состояния вертолётных агрегатов. Разработан программный продукт, обеспечивающий реализацию интеграции НВР и нечёткой онтологии. Проведены эксперименты по поиску аномальных ситуаций и возможных неисправных агрегатов с использованием разра-

ботанного подхода. По итогам проведённых экспериментов можно сделать вывод о том, что предложенный подход интеграции НВР и нечётких онтологий позволяет распознавать аномальные ситуации и находить возможные неисправные агрегаты, соответствующие каждой такой ситуации.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проекты № 18-37-00450, № 16-47-732070 и 18-47-732007.

## Список источников

- [1] *Массель, Л.В.* Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике / Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова, Н.И. Пяткова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). – С. 66-76. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [2] *Грищенко, М.А.* Разработка диагностических интеллектуальных систем на основе онтологий / М.А. Грищенко, Н.О. Дородных, С.А. Коршунов, А.Ю. Юрин // Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №2(28). – С.265-284. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [3] *Ковалев, С.М.* Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций для этапа проектирования сложных технических систем / С.М. Ковалев, А.Е. Колоденкова // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 398-409. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.
- [4] *Torshizi, A.D.* A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for Benign Prostatic Hyperplasia / A.D. Torshizi, M.H.F. Zarandi, G.D. Torshizi, K. Eghbali // Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 113, Issue 1, 2014, P.301-313.
- [5] *Lai, L.F.* Developing a fuzzy search engine based on fuzzy ontology and semantic search. / L.F. Lai, C. Wu, P. Lin, L. Huang // 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011), pp. 2684-2689.
- [6] *Morente-Molinera, J.A.* Creating knowledge databases for storing and sharing people knowledge automatically using group decision making and fuzzy ontologies / J.A. Morente-Molinera, I.J. Pérez, M.R. Ureña, E. Herrera-Viedma // Information Sciences, Vol. 328, 2016, P.418-434.
- [7] *Ярушкина, Н. Г.* Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие / Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2010.
- [8] *Noy, N.F.* Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. / N.F. Noy, D.L. McGuinness // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] *Мошкин, В.С.* Методики построения нечётких онтологий сложных предметных областей / В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): материалы V Междунар. научн.техн. конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 г.) / В.В. Голенков (отв. ред.) – Минск: БГУИР. – 2015. – С.401–406.
- [10] *Афанасьева, Т.В.* Прогнозирование временных рядов: нечёткие модели / Т.В. Афанасьева, А.М. Наместников, И.Г. Перфильева, А.А. Романов, Н.Г. Ярушкина. – Ульяновск: УлГТУ, 2014.
- [11] *Romanov, A.A.* Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018” / A.A. Romanov, E.N. Egov, I.A. Moshkina, I.F. Dyakov // Ulyanovsk, Russia, 23-25 October, 2018. pp. 50-55.
- [12] *Bobillo, F.* Fuzzy ontology representation using OWL 2 / F. Bobillo, U. Straccia // International Journal of Approximate Reasoning. Vol. 52, 2011. - P.1073–1094.
- [13] *Lee, C.S.* A fuzzy ontology and its application to news summarization / C.S. Lee, Z.-W. Jian, L.-K. Huang // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, PartB. Vol. 5, -2005. - P.859–880.
- [14] *Straccia, U.* Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web / U. Straccia // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. – P.167-181.
- [15] *Мошкин, В.С.* Логический вывод на основе нечётких онтологий / В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных тр. VIII-й Междунар. научно-практич. конф. (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. Т1. – М.: Физматлит, 2015. – С.259–267.
- [16] Protégé: ontology editor. — <https://protege.stanford.edu>.
- [17] Fuzzy Ontology Representation using OWL 2. — <http://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/index.html>.

## APPLICATION OF FUZZY TIME SERIES AND FUZZY ONTOLOGY INTEGRATION IN DIAGNOSTICS OF TECHNICAL SYSTEMS

N.G. Yarushkina<sup>1</sup>, V.S. Moshkin<sup>2</sup>, G.R. Ishmuratova<sup>3</sup>, I.A. Andreev<sup>4</sup>, I.A. Moshkina<sup>5</sup>

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

<sup>1</sup>jng@ulstu.ru, <sup>2</sup>v.moshkin@ulstu.ru, <sup>3</sup>geliya94@mail.ru, <sup>4</sup>ares-ilya@yandex.ru<sup>4</sup>, <sup>5</sup>i.timina@ulstu.ru<sup>5</sup>

### Abstract

The method of constructing fuzzy ontologies was investigated in the framework of this work. An ontological model for assessing the state of helicopter units has been developed. The article provides a formal description of fuzzy ontologies and features of the representation of elements of fuzzy axioms in FuzzyOWL notation. According to the proposed approach, the summarizing of the state of a complex technical system is carried out by means of a logical inference based on a fuzzy ontology. Objects, properties and axioms of fuzzy ontology determine the parameters of the membership functions and linguistic variables of the objects of analysis in the form of time series. A software product was developed to implement the proposed approach. As part of this work, experiments were conducted to search for anomalous situations and search for possible faulty helicopter units using the developed approach to the integration of fuzzy time series and fuzzy ontology. For the first time, the results of the logical inference of knowledge based on the integration of fuzzy time series and fuzzy ontologies in the tasks of analyzing the diagnosis of complex technical systems were obtained. The proposed approach of hybridization of fuzzy time series and fuzzy ontologies made it possible to reliably recognize anomalous situations with a certain degree of truth, and to find possible faulty aggregates corresponding to each anomalous situation.

**Key words:** *fuzzy time series, fuzzy ontology, Fuzzy OWL, summary*

**Citation:** Yarushkina NG, Moshkin VS, Ishmuratova GR, Andreev IA, Moshkina IA. Application of fuzzy time series and fuzzy ontology integration in diagnostics of technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 594-604. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-594-604.

### Acknowledgment

The reported study was funded by RFBR according to the research projects № 18-37-00450, № 16-47-732070 and 18-47-732007.

### References

- [1] **Massel LV, Vorozhtsova TN, Pjatkova NI.** Ontology engineering to support strategic decision-making in the energy sector [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(1): 66-76. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
- [2] **Grischenko MA, Dorodnykh NO, Korshunov SA, Yurin AY.** Ontology-based development of diagnostic intelligent systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 265-284. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.
- [3] **Kovalev SM, Kolodenkova AE.** Knowledge base design for the intelligent system for control and preventions of risk situations in the design stage of complex technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 398-409. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.
- [4] **Torshizi AD, Zarandi MHF, Torshizi GD, Eghbali K.** A hybrid fuzzy-ontology based intelligent system to determine level of severity and treatment recommendation for Benign Prostatic Hyperplasia / *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2014; 113(1): 301-313.
- [5] **Lai LF., Wu C, Lin P, Huang L.** Developing a fuzzy search engine based on fuzzy ontology and semantic search. 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011), P.2684-2689.
- [6] **Morente-Molinera JA, Pérez JJ, Ureña MR, Herrera-Viedma E.** Creating knowledge databases for storing and sharing people knowledge automatically using group decision making and fuzzy ontologies / *Information Sciences*, 2016; 328: 418-434.
- [7] **Yarushkina NG, Afanasyeva TV, Perfilyeva IG.** Intellectual analysis of time series: textbook [In Russian]. - Ulyanovsk: UISTU, 2010.



- [8] *Natalya F. Noy and Deborah L. McGuinness*. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology'. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [9] *Moshkin VS, Yarushkina NG*. Methods for constructing fuzzy ontologies of complex subject areas [In Russian] // Open semantic technologies for designing intelligent systems (OSTIS-2015): materials of the V Intern. scientific techn. conf. (Minsk, February 19-21, 2015) / V.V. Golenkov (ed.). - Minsk: BSUIR. - 2015. - P.401–406.
- [10] *Afanaseva TV, Namestnikov AM, Perfilyeva IG, Romanov AA, Yarushkina NG*. Time Series Forecasting: Fuzzy Models [In Russian]. - Ulyanovsk: UISTU, 2014.
- [11] *Romanov AA, Egov EN, Moshkina IA, Dyakov IF*. Extraction and Forecasting of the International Scientific and Practical Conference "Fzz 2018" // Ulyanovsk, Russia, 23-25 October, 2018. P.50-55.
- [12] *Bobillo F, Straccia U*. Fuzzy ontology representation using OWL 2 // International Journal of Approximate Reasoning. 2011; 52: 1073-1094
- [13] *Lee CS, Jian ZW, Huang LK*. A Fuzzy Ontology // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, PartB. 2005; 5: 859–880.
- [14] *Straccia U*. Towards a Fuzzy Description: Logic for the Semantic Web // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. - P.167-181.
- [15] *Moshkin VS, Yarushkina NG*. Logical inference based on fuzzy ontologies [In Russian] // Integrated models and soft computing in artificial intelligence. Collection of scientific papers of the VIII-th International Scientific and Practical Conference (Kolomna, May 18-20, 2015). In 2 volumes. T1. - M.: Fizmatlit, 2015. – P.259–267.
- [16] Protégé: ontology editor. - <https://protege.stanford.edu>.
- [17] Fuzzy Ontology Representation using OWL 2. - <http://www.umbertostraccia.it/cs/software/FuzzyOWL/index.html>.

## Сведения об авторах

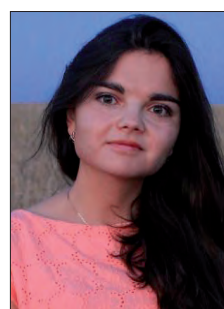


**Ярушкина Надежда Глебовна** (1962 г. рождения). Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Информационные системы" Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. Область научных интересов - мягкие вычисления, нечёткая логика, гибридные системы. Опубликовано более 250 научных работ.

**Nadezhda Glebovna Yarushkina** (b. 1962) Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department of "Information Systems" of the Ulyanovsk State Technical University (UISTU). Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. Her research interests are soft computing, fuzzy logic, and hybrid systems. Published over 250 scientific papers.

**Мошкин Вадим Сергеевич** (1990 г. рождения). Окончил УлГТУ (2012), к.т.н. (2017), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Ведущий программист лаборатории автоматизации образовательного процесса УлГТУ. Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 80 статей в области интеллектуальной обработки знаний, автоматизации проектирования, а также построения прикладных интеллектуальных систем.

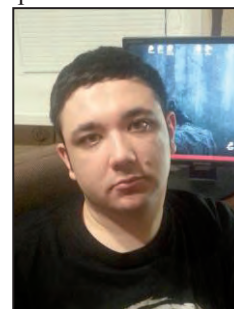
**Vadim Sergeevich Moshkin** (b. 1990) graduated from UISTU (2012), Ph. D. (2017), associate professor of the Information Systems department at UISTU. Leading programmer of the automation laboratory of the educational process at UISTU. Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. He is co-author of more than 80 publications in the field of data mining, design automation and construction of applied intelligent systems.



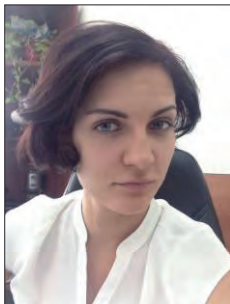
**Ишмуратова Гелия Рафиковна** (1994 г. рождения) студентка-магистр УлГТУ. Имеет более 10 статей в области исследования и разработки нечётких онтологий, автоматизации проектирования, лингвистики.

**Geliya Rafikovna Ishmuratova** (b. 1994) student of UISTU. She is co-author more than 10 articles in the field of research and development of fuzzy ontologies, design automation, linguistics.

**Андреев Илья Алексеевич** (1994 г. рождения). Окончил УлГТУ в 2017 г., аспирант кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Программист лаборатории автоматизации образовательного процесса УлГТУ. Имеет более 20 статей в области автоматизации проектирования, онтологического инжиниринга и технической лингвистики.



**Илья Алексеевич Андреев** (b. 1994) graduated from UISTU (2017), a postgraduate of the department "Information Systems" of UISTU. Programmer of the laboratory of automation of educational process UISTU. He is co-author of more than 20 articles in the field of design automation, ontological engineering and technical linguistics.



**Мошкина Ирина Александровна** (1989 г. рождения). Окончила УлГТУ (2011), к.т.н. (2017), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Член Российской и Европейской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 50 статей в области интеллектуальной обработки знаний, автоматизации проектирования, а также анализа и прогнозирования нечётких временных рядов.

**Irina Aleksandrovna Moshkina** (b. 1989) graduated from UISTU (2011), Ph.D. (2017), associate professor of the Information Systems department at UISTU. Member of the Russian and European Association of Artificial Intelligence. He is co-author of more than 50 publications in the field of data mining, design automation and fuzzy time series forecasting.

УДК 519.7; 338.24

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ФРОНТОВ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

**М.В. Цапенко***Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия**Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара, Россия  
mcar@mail.ru*

### Аннотация

Задача оценки системной эффективности инновационных проектов и определения их сравнительной значимости является актуальной при определении приоритетов финансирования как на уровне государственных, так и частных инвестиций. Решение этой задачи предполагает расчёт локальных показателей эффективности инновационных проектов и определение процедур свёртки таких показателей в интегральную обобщённую оценку, позволяющую однозначно определить приоритет проекта в рамках анализируемой совокупности конкурирующих предложений. Для инновационных проектов, имеющих максимальную интегральную оценку, актуальным является построение фронтов эффективности, определяющих границы эффективности проекта в пространстве параметров состояний. Конструирование таких фронтов эффективности возможно на основе оценок, полученных методом многокритериального оценивания *Data Envelopment Analysis*. Новизна исследования заключается в содержательной интерпретации секторов, формирующих эффективный фронт, в пространстве весовых коэффициентов обобщённого показателя эффективности.

**Ключевые слова:** инновационный проект, системная эффективность, *Data Envelopment Analysis*, эффективный фронт.

**Цитирование:** Цапенко, М.В. Конструирование эффективных фронтов инновационных проектов / М.В. Цапенко // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, №4(30). – С.605-614. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-605-614.

### Введение

Определение приоритетности финансирования инновационных проектов основано на системном анализе их эффективности. Этот анализ предполагает расчёт и анализ ряда локальных показателей эффективности, каждый из которых характеризует различные аспекты в процессе реализации проекта. Зачастую эти частные показатели являются противоречивыми, а динамика их поведения может носить несистемный и/или антагонистический характер. В этих случаях требуется разработка процедур, обеспечивающих свёртку частных оценок эффективности в обобщённый интегральный показатель. Конструктивным способом такой свёртки является метод *Data Envelopment Analysis* (далее по тексту статьи – DEA) [1], позволяющий реализовать агрегирование частных оценок в единую обобщённую, на основе которой возможно однозначное сопоставление и ранжировка объектов оценивания – инновационных проектов.

Как правило, при реализации метода DEA некоторое множество объектов оценивания получают одинаковые максимальные оценки, что однозначно определяет их наивысший приоритет в анализируемой совокупности и свидетельствует об их равнозначности.

В этом случае актуальной является задача исследования такой равнозначной совокупности объектов, имеющих максимальный приоритет. Для её решения возможно построение фронтов эффективности, которые определяют границы зон максимальной эффективности и

наглядно иллюстрируют положение проектов с максимальной эффективностью относительно анализируемой совокупности в пространстве состояний.

Конструирование эффективных фронтов предполагает решение следующих задач.

- 1) математическая формализация DEA-моделей на основе системы локальных показателей эффективности инновационных проектов – определение вида обобщённого показателя эффективности и системы ограничений.
- 2) сбор и систематизация исходных данных о значениях локальных характеристик эффективности инновационных проектов.
- 3) численная реализация алгоритма DEA-оценки – расчёт значений обобщённого показателя сравнительной эффективности на основе решения задач математического программирования.
- 4) ранжирование совокупности анализируемых инновационных проектов на основе полученных системных оценок эффективности.
- 5) конструирование эффективных фронтов инновационных проектов в пространстве параметров функционирования.

Рассмотрим пример проведения многокритериальной оценки эффективности инновационных проектов и построения эффективных фронтов в трёхмерном пространстве.

## 1 Метод исследования

Особенностью метода DEA является использование формальных алгоритмов оценивания без учёта субъективных суждений исследователя о значимости (весе) локальных характеристик [2].

Свойства метода и алгоритм применения рассмотрены в работе [3], результаты апробации для решения различных задач оценки сравнительной эффективности представлены в материалах [4].

Для применения метода DEA объекты оценивания представляются в виде систем, которые характеризуются  $m$  входными –  $X_m$  и  $k$  выходными –  $Y_k$  параметрами. При этом увеличение выходных характеристик и уменьшение входных должно приводить к росту обобщённого показателя эффективности, и наоборот.

Как правило, в качестве выходных параметров  $Y_k$  выбираются характеристики системы, определяющие результаты функционирования: выпуск продукции и услуг, создание технологий и т.п.

В качестве входных характеристик  $X_m$  выступают затраты различных ресурсов, которые определили наличие этих результатов.

В базовом варианте метода DEA обобщённый показатель эффективности исследуемых систем формируется как отношение взвешенных аддитивных наборов выходных характеристик к входным:

$$(1) \quad f = \frac{u_1 \cdot Y_1 + u_2 \cdot Y_2 + \dots + u_k \cdot Y_k}{v_1 \cdot X_1 + v_2 \cdot X_2 + \dots + v_m \cdot X_m}.$$

В обобщённом показателе эффективности (1)  $u_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) – положительные, произвольные и заранее неизвестные весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого выходного фактора  $Y_i$  в системном показателе эффективности  $f$ . Соответственно,  $v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) – веса входных величин  $X_j$ .

Процедура нахождения численных значений обобщённых показателей интегральной оценки эффективности  $f$  для каждой системы предполагает их ранжировку на единичном интервале. Такая ранжировка обеспечивается максимизацией обобщённого показателя (1) для



каждой оцениваемой системы с помощью нахождения набора весовых коэффициентов  $u_i, v_j$  на основе решения задачи математического программирования при системе ограничений, определяющей область значения этих весов:

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{u_{11} \cdot Y_{11} + u_{21} \cdot Y_{21} + u_{31} \cdot Y_{31} + \dots + u_{k1} \cdot Y_{k1}}{v_{11} \cdot X_{11} + v_{21} \cdot X_{21} + v_{31} \cdot X_{31} + \dots + v_{m1} \cdot X_{m1}} \leq 1; \\ \frac{u_{12} \cdot Y_{12} + u_{22} \cdot Y_{22} + u_{32} \cdot Y_{32} + \dots + u_{k2} \cdot Y_{k2}}{v_{12} \cdot X_{12} + v_{22} \cdot X_{22} + v_{32} \cdot X_{32} + \dots + v_{m2} \cdot X_{m2}} \leq 1; \\ \dots \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + v_{3n} \cdot X_{3n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}} \leq 1; \\ u_{in} \geq 0; v_{jn} \geq 0; \end{array} \right.$$

$$i = \{1, 2 \dots k\}; j = \{1, 2 \dots m\}; n = \{1, 2 \dots N\}.$$

Отметим, что применение этого метода возможно как в пространствах параметров и характеристик сравниваемых систем, так и на временных интервалах функционирования одной системы. В этом случае метод DEA позволяет проводить анализ динамики обобщенного показателя сравнительной эффективности исследуемой системы.

Наряду с использованием обобщенного показателя эффективности в виде отношения (1) применяются линейные конструкции – аддитивные наборы факторов, требующих максимизации для обеспечения роста значений системной эффективности.

## 2 Объект исследования и исходные данные

Объектом исследования является совокупность инновационных проектов, агрегированная технопарком «Жигулёвская долина» [5].

В качестве локальных характеристик инновационных проектов будем использовать следующие общепринятые частные показатели:

- $PV$  – стоимость проекта, руб.;
- $E$  – объём товарного рынка, руб.;
- $CP$  – рентабельность проекта, %;
- $IC$  – требуемые инвестиции для реализации проекта, руб.

Эти показатели получили широкое распространение при формировании заявок на отбор и финансирование инновационных проектов. Они позволяют сопоставлять различные проекты и определять их эффективность.

Однако, даже минимизируя состав локальных параметров оценки, сделать однозначный выбор при наличии множества альтернативных проектов затруднительно, так как проекты могут иметь различный масштаб, первоначальную стоимость, потенциальный размер товарного рынка, запрашиваемый объём финансирования, а также сроки окупаемости и реализации.

Для решения задачи оценки и выбора проектов необходимо использовать процедуру, обеспечивающую свёртку локальных характеристик в единый обобщённый системный показатель эффективности, например метод DEA.

### 3 Многокритериальное сравнительное оценивание эффективности инновационных проектов

На первом этапе реализации DEA-метода необходимо определить вид обобщённого показателя оценивания. При формировании этого показателя используется принцип аддитивной свёртки трёх относительных локальных характеристик: удельной стоимости проекта, объёма товарного рынка по отношению к требуемым инвестициям и рентабельности проекта. В этом случае обобщённый показатель имеет следующий вид:

$$(3) \quad f = \left( \frac{PV}{IC} \right) \cdot v_1 + \left( \frac{E}{IC} \right) \cdot v_2 + CP \cdot v_3 \rightarrow \max,$$

где:

- $PV, IC, E, CP$  – соответствующие локальные характеристики проекта;
- $v_1 - v_3$  – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя в обобщённый критерий.

Конструирование обобщённого показателя на основе только относительных характеристик позволяет учитывать фактор масштаба и адекватно сравнивать проекты, имеющие различные объёмные параметры – первоначальную стоимость, требуемые инвестиции, объём целевого рынка.

Следующим этапом реализации DEA-метода является сбор исходной информации относительно выбранных локальных характеристик для конкретного набора инновационных проектов.

На основе собранной информации о 22 инновационных проектах, заявленных к реализации в Самарской области, формируются их DEA-модели для обобщённого показателя вида (3).

Система (4) определяет DEA-модель первого проекта по обобщённому показателю (3) с соответствующей системой ограничений.

DEA-модели вида (4) для остальных проектов различаются численными значениями переменных в обобщённых показателях, которые берутся на основе значений локальных характеристик для каждого инновационного проекта. Система ограничений остаётся постоянной.

Таким образом, для нахождения значений оценок системной эффективности для каждого проекта необходимо сформировать 22 постановки задачи линейного программирования вида (4) и найти их решения.

Результаты решения этих задач показаны на графике, представленном на рисунке 1 (по горизонтальной оси показаны условные номера инновационных проектов).

Анализ полученных результатов показывает, что максимальную системную оценку эффективности  $f = 1,0000$  имеют три проекта: №1, №4 и №5. Минимальное значение имеет проект №10 –  $f = 0,0068$ . Высокое значение системной эффективности имеет и проект №18:  $f = 0,9554$  (см. рисунок 1).

Диаграмма на рисунке 2 показывает ранжирование проектов по убыванию показателя системной эффективности (по горизонтальной шкале отложены порядковые номера проектов). Ранжировка позволяет выделить следующие группы приоритетов.

- Четыре проекта - №№ 1, 4, 5, 18 - можно отнести к группе наивысшего приоритета.
- Вторая по приоритетности группа проектов включает шесть проектов со значениями  $f$  от 0,1954 до 0,076 – это проекты №№ 8, 13, 3, 7, 22 и 19.
- Двенадцать проектов имеют оценку системной эффективности менее 0,05. К этой группе, имеющей низкий приоритет, относятся проекты №№ 20, 6, 16, 15, 14, 17, 21, 2, 11, 9, 12 и 10.

$$f_1 = \left( \frac{1510200}{1} \right) \cdot v_1 + \left( \frac{149000000000}{1} \right) \cdot v_2 + 22 \cdot v_3 \rightarrow \mathbf{max};$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (1510200/1) \cdot v_1 + (149000000000/1) \cdot v_2 + 22 \cdot v_3 \leq 1; \\ (20874000/20874000) \cdot v_1 + (124000000000/20874000) \cdot v_2 + 20 \cdot v_3 \leq 1; \\ (12500000/12000000) \cdot v_1 + (32500000000/12000000) \cdot v_2 + 132.5 \cdot v_3 \leq 1; \\ (100000000/1) \cdot v_1 + (50000000/1) \cdot v_2 + 15 \cdot v_3 \leq 1; \\ (204030000/153052000) \cdot v_1 + (5200000000/153052000) \cdot v_2 + 1024 \cdot v_3 \leq 1; \\ (103000000/43000000) \cdot v_1 + (17200000000/43000000) \cdot v_2 + 35 \cdot v_3 \leq 1; \\ (10965000/4500000) \cdot v_1 + (60300000000/4500000) \cdot v_2 + 100.3 \cdot v_3 \leq 1; \\ (1365000/1300000) \cdot v_1 + (634000000000/1300000) \cdot v_2 + 200 \cdot v_3 \leq 1; \\ (1759985300/1758885300) \cdot v_1 + (10000000000/1758885300) \cdot v_2 + 11 \cdot v_3 \leq 1; \\ (37125000/3000000) \cdot v_1 + (14300000000/3000000) \cdot v_2 + 7 \cdot v_3 \leq 1; \\ (1400000000/400000000) \cdot v_1 + (100000000/400000000) \cdot v_2 + 20 \cdot v_3 \leq 1; \\ (655200000/12000000) \cdot v_1 + (10000000000/12000000) \cdot v_2 + 11 \cdot v_3 \leq 1; \\ (191132600/60000000) \cdot v_1 + (1000000000/60000000) \cdot v_2 + 133 \cdot v_3 \leq 1; \\ (22000000/10000000) \cdot v_1 + (1000000000/10000000) \cdot v_2 + 23 \cdot v_3 \leq 1; \\ (45000000/18500000) \cdot v_1 + (5000000000/18500000) \cdot v_2 + 25 \cdot v_3 \leq 1; \\ (244860000/27860000) \cdot v_1 + (50000000000/27860000) \cdot v_2 + 30 \cdot v_3 \leq 1; \\ (100000000/50000000) \cdot v_1 + (2000000/50000000) \cdot v_2 + 23 \cdot v_3 \leq 1; \\ (94463000/1) \cdot v_1 + (50000000/1) \cdot v_2 + 25 \cdot v_3 \leq 1; \\ (16096000/2500000) \cdot v_1 + (70000000/2500000) \cdot v_2 + 77.8 \cdot v_3 \leq 1; \\ (15000000/10000000) \cdot v_1 + (70000000/10000000) \cdot v_2 + 40 \cdot v_3 \leq 1; \\ (26212000/15000000) \cdot v_1 + (40000000/15000000) \cdot v_2 + 22 \cdot v_3 \leq 1; \\ (113600000/120000000) \cdot v_1 + (240000000/120000000) \cdot v_2 + 100 \cdot v_3 \leq 1; \\ v_1, v_2, v_3 \geq 0. \end{array} \right.$$

(4)

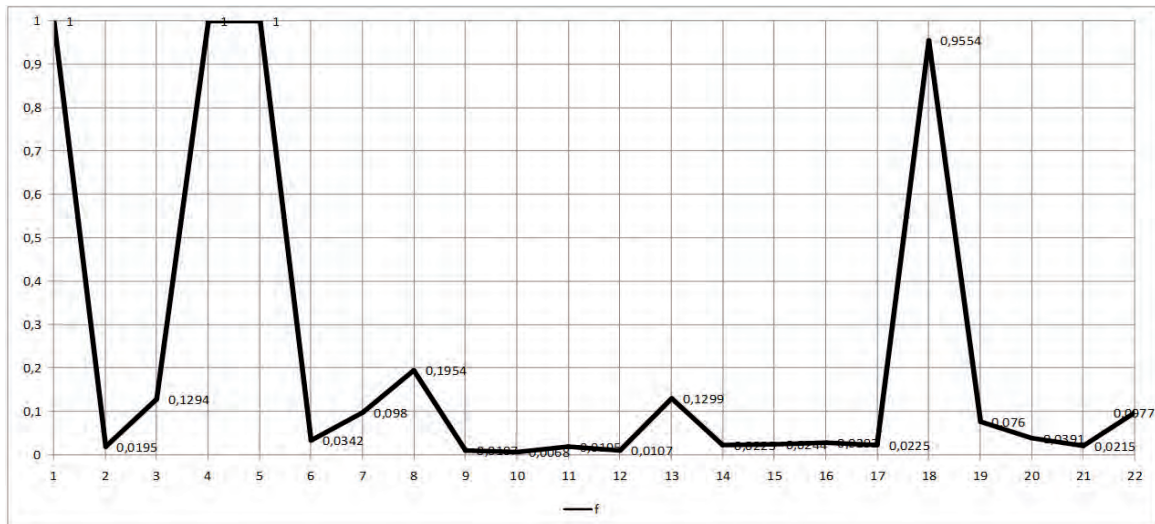


Рисунок 1 – Значения системной эффективности проектов по обобщённому показателю  $f$

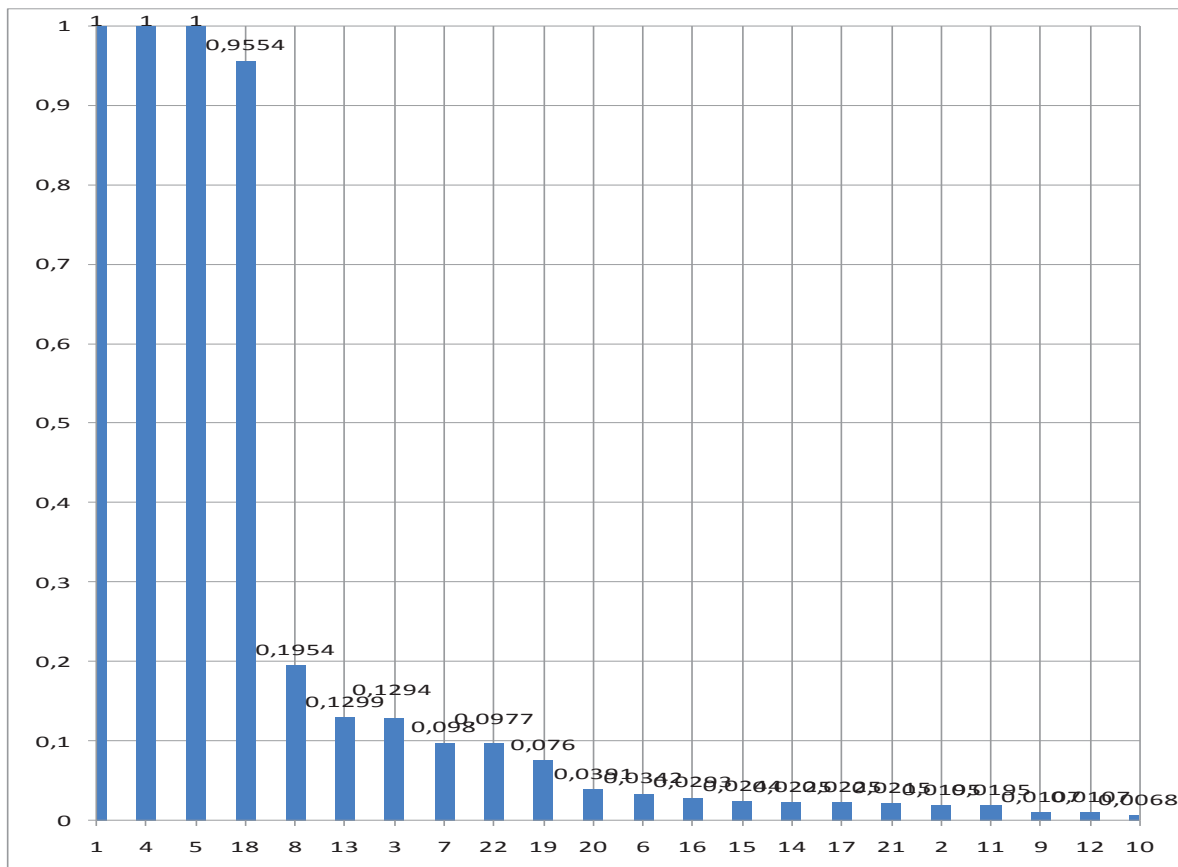


Рисунок 2 – Ранжированные значения системной эффективности проектов по обобщённому показателю  $f$

#### 4 Конструирование эффективных фронтов инновационных проектов

Для трёх проектов с максимальной оценкой системной эффективности построим эффективные фронты. Эти фронты определяют секторы, в пределах которых возможны изменения весовых коэффициентов в обобщённом показателе эффективности без уменьшения максимальной системной оценки эффективности проекта.



В случае обобщённого функционала (3) фронты можно наглядно отобразить в трёхмерном пространстве весовых коэффициентов  $v_1, v_2, v_3$ .

В общем виде фронты формируются объединением плоскостей, заданных уравнениями вида:

$$(5) \quad \left(\frac{PV}{IC}\right) \cdot v_1 + \left(\frac{E}{IC}\right) \cdot v_2 + CP \cdot v_3 = 1,$$

где  $v_1, v_2, v_3$  – численные значения весов, определяемые из решения задач линейного программирования вида (4) для трёх эффективных проектов №№: 1, 4, 5.

Для проекта №1 эффективный фронт формируется плоскостью, заданной уравнением:

$$(6) \quad 1510200 \cdot v_1 + 14900000000 \cdot v_2 + 22 \cdot v_3 = 1.$$

Для проекта №4 эффективный фронт формируется плоскостью, заданной уравнением:

$$(7) \quad 100000000 \cdot v_1 + 50000000 \cdot v_2 + 15 \cdot v_3 = 1.$$

Для проекта №5 эффективный фронт формируется плоскостью, заданной уравнением:

$$(8) \quad 1,33 \cdot v_1 + 33,98 \cdot v_2 + 1024 \cdot v_3 = 1.$$

В таблице 1 представлены значения координат точек пересечения плоскостей, формирующих эффективные фронты, с осями координат в пространстве весов.

Таблица 1 – Значения координат точек пересечения плоскостей с осями координат

Порядковый номер проекта	Плоскость	Значения весов (координаты точек)		
		$v_1$	$v_2$	$v_3$
1	А	$6.62 \times 10^{-07}$	$6.71 \times 10^{-11}$	$4.55 \times 10^{-02}$
4	В	$1.00 \times 10^{-08}$	$2.00 \times 10^{-08}$	$6.67 \times 10^{-02}$
5	С	$7.50 \times 10^{-01}$	$2.94 \times 10^{-02}$	$9.77 \times 10^{-04}$

На рисунке 3 в трёхмерной системе координат показаны плоскости, формирующие эффективные фронты, и эффективная граница. Так как различия между значениями координат точек составляют порядки, то в системе координат на рисунке 3 для наглядности масштаб не учитывается.

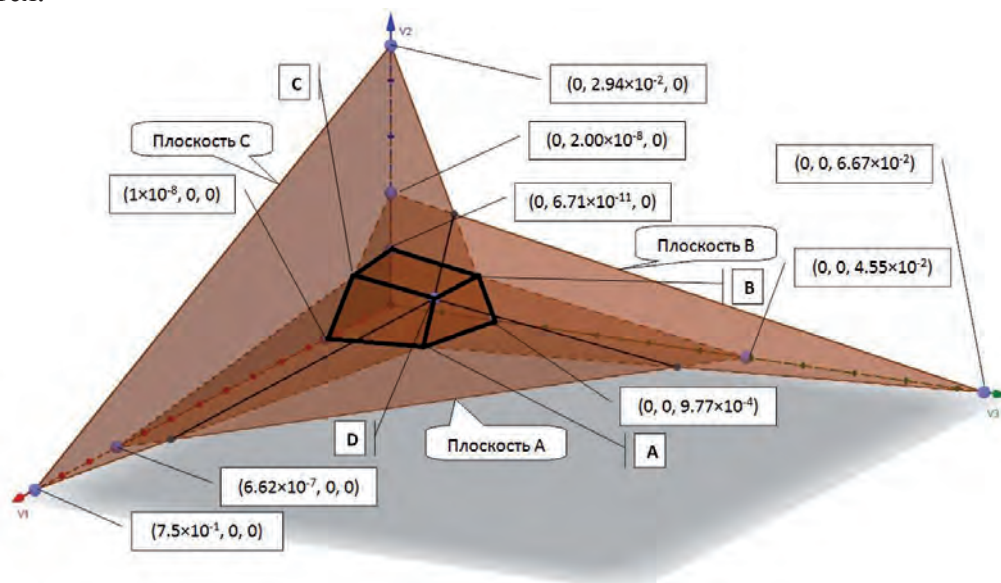


Рисунок 3 – Эффективные фронты в пространстве весов локальных характеристик инновационных проектов (координаты точек показаны условно, без учёта масштаба)

Как видно из построений, показанных на рисунке 3, эффективные фронты формируют многогранник (выделен жирными линиями), состоящий из трёх пересекающихся плоскостей. Границы многогранника определяются тремя точками пересечения с осями координат и четырьмя характерными точками (А, В, С, D) взаимного пересечения плоскостей. Каждая плоскость определяет области максимальной эффективности для соответствующих проектов.

Координаты характерных точек представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Координаты характерных точек

Характерные точки	Значения весов (координаты точек)		
	$v_1$	$v_2$	$v_3$
А	$9.854 \times 10^{-9}$	0	$9.766 \times 10^{-4}$
В	0	$6.567 \times 10^{-11}$	$9.766 \times 10^{-4}$
С	$9.967 \times 10^{-9}$	$6.61 \times 10^{-11}$	0
D	$9.821 \times 10^{-9}$	$6.468 \times 10^{-11}$	$6.468 \times 10^{-11}$

Эффективный фронт определяет континуум значений локальных оценок эффективности, в пределах которого возможны их изменения при сохранении максимальной оценки эффективности проекта.

Все остальные, неэффективные проекты находятся вне этого фронта. Под термином «неэффективный проект» будем понимать проект с оценкой системной эффективности, отличной от единицы.

Площади соответствующих граней эффективного фронта можно трактовать как меру устойчивости проекта к изменению локальных показателей качества в условиях неухудшения его системной эффективности.

Для остальных 19 анализируемых проектов плоскости эффективных фронтов определяют направления изменения частных характеристик для достижения эталонной группы, состоящей из трёх проектов с максимальными оценками системной эффективности.

Исходя из этой гипотезы можно сделать вывод, что подобное фронтрование позволяет указать направления изменения локальных характеристик инновационных проектов для достижения проектом максимальной эффективности.

Основываясь на этом выводе, может быть разработан алгоритм управления локальными характеристиками неэффективных проектов, позволяющий максимизировать их оценку системной эффективности – выводить эти проекты на границы фронтов.

## Заключение

В проведённом исследовании реализована процедура многокритериального оценивания сравнительной эффективности инновационных проектов на основе DEA-модели, предложена постановка обобщённого показателя системной эффективности проектов, построена система ограничений.

Постановки DEA-моделей формализованы в форме задач линейного математического программирования. Решения этих задач определяют численные значения обобщённого показателя эффективности для каждого из рассмотренных проектов.

Построены эффективные границы – фронты в трёхмерном пространстве параметров, определены допустимые (эффективные) секторы изменения локальных характеристик проектов, имеющих максимальную оценку эффективности. Дана содержательная интерпретация секторов эффективного фронта в пространстве весовых коэффициентов обобщённого показателя системной эффективности.

## Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект: «Системное ранжирование инновационных проектов экосистемы Самарской области» (грант № 15-46-02135).

## Список источников

- [1] *Farrel, M.J.* The Measurement of Productive Efficiency / M.J. Farrel // Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General). – 1957. - Vol. 120, Part III. - P. 253 – 281.
- [2] *Charnes, A.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. - Vol. 2. – P. 429-444.
- [3] *Дилигенский, Н.В.* Программно-аналитический инструментарий для многокритериального оценивания эффективности научных исследований / Н.В. Дилигенский, М.В. Цапенко, А.Н. Давыдов, Д.А. Барболин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2012. - №4(36) - С. 39-45.
- [4] *Цапенко, М.В.* Системное оценивание инновационной активности региональной экономики / М.В. Цапенко // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2016. - №1(49) - С. 48-55.
- [5] Официальный сайт технопарка «Жигулёвская долина» - <http://dolinatlt.ru/projects>.

## CONSTRUCTION OF EFFECTIVE FRONTS OF INNOVATIVE PROJECTS

**M.V. Tsapenko**

*Institute of Control of Complex Systems, RAS, Samara, Russia*

*Samara National Research University, Samara, Russia*

*mcap@mail.ru*

### Abstract

The task of assessing the systemic effectiveness of innovative projects and determining their comparative importance is relevant while determining the priorities of financing both at the level of public and private investment. The solution of this problem involves the definition of procedures for convolution of local innovative projects efficiency indicators into integrated generalized assessment, which allows to clearly determine the priority of the project within the analyzed population. For innovative projects with a maximum integral evaluation, the actual construction of efficiency fronts, defining the limits of the project's effectiveness in the parameter state space. Such efficiency fronts construction is possible on the basis of estimates obtained by multi-criteria evaluation method Data Envelopment Analysis. New in this study is a meaningful interpretation of the sectors that form an effective front, in the space of weight coefficients of the generalized efficiency indicator.

**Key words:** *innovative project, system efficiency, Data Envelopment Analysis, effective front.*

**Citation:** *Tsapenko MV.* Construction of effective fronts of innovative projects [In Russian]. *Ontology of designing.* 2018; 8(4): 605-614. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-605-614.

## Acknowledgment

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project: "Systematic ranking of innovation projects of ecosystems of the Samara region" (grant No. 15-46-02135).

## References

- [1] *Farrel MJ.* The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General) 1957; 120 (Part III): 253 – 281.

- [2] *Charnes A, Cooper WW, Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* 1978; 2: 429-444.
  - [3] *Diligenskiy NV, Tsapenko MV, Davydov AN, Barbolin DA.* Software and analytical tools for multi-criteria estimation of research effectiveness [In Russian]. *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences.* 2012; 4(36): 39-45.
  - [4] *Tsapenko MV.* System rating of innovative activity of the regional economy [In Russian]. *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences.* 2016; 1(49): 48-55.
  - [5] The official site of the technopark «Zhigulevskaya dolina». - <http://dolinatlt.ru/projects>.
- 

### Сведения об авторе



*Цапенко Михаил Владимирович*, 1976 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва в 1999 г., к.э.н. (2002), доцент (2007), старший научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, заведующий кафедрой менеджмента Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. В списке научных трудов более 100 работ в области экономико-математического моделирования сложных систем, в том числе многокритериального оценивания эффективности социально-экономических систем.

*Mikhail Vladimirovich Tsapenko* (b. 1976) graduated from the Samara State Aerospace University in 1999, Candidate degree in economics (2002), Associate professor (2007), Senior Researcher at Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences,

Head of the Management Department, Samara National Research University. He is author (co-author) of more than 100 publications in the field of economics and mathematical modeling of complex systems, including multi-criteria estimation of the effectiveness of socio-economic systems.



УДК 62-40

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД В ВЕКТОРНЫХ ЗАДАЧАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Э.Я. Рапопорт<sup>1</sup>, Ю.Э. Плешивцева<sup>2</sup>

Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия  
<sup>1</sup>edgar.rapoport@mail.ru, <sup>2</sup>yulia\_pl@mail.ru

### Аннотация

Предлагаются конструктивные способы решения широкого круга векторных задач оптимального управления системами с распределёнными параметрами (СРП) в условиях заданной точности равномерного приближения к требуемому конечному состоянию объекта на множестве пространственных аргументов управляемой величины. Задачи многокритериальной оптимизации после перехода к относительным равнозначным оценкам частных критериев эффективности приводятся к однокритериальной версии в форме вариационной задачи с интегральным функционалом качества и новыми ограничениями на финишные значения дополнительных фазовых переменных расширенной модели СРП. Комбинированные ограничения на конечное состояние СРП заменяются одним ограничением на их линейную комбинацию, которое предъявляется в равномерной метрике на расширенном множестве аргументов, включающем кроме пространственных переменных изменяющиеся в пределах типового симплекса весовые множители суммируемых компонентов. Задачи многоканального управления одним или системой взаимосвязанных распределённых объектов рассматриваются в условиях специфического требования одинаковой продолжительности процесса управления для всех управляющих воздействий, которое приводит к необходимости их выбора на множестве различных априори допустимых вариантов с последующей оценкой по величине оптимизируемого показателя качества. Дальнейшие процедуры предварительной параметризации управляющих воздействий, осуществляемые с помощью известных аналитических условий оптимальности, обеспечивают точную редукцию исходных постановок к усложнённым модификациям задач полубесконечного программирования, на которые распространяются вычислительные алгоритмы для скалярного варианта альтернативного метода поиска искомых экстремалей, базирующегося на их чебышёвских свойствах. Приводится представляющий самостоятельный интерес пример решения векторной задачи оптимального управления объектом технологической теплофизики.

**Ключевые слова:** системы с распределёнными параметрами, оптимальное управление, многокритериальная оптимизация, комбинированные ограничения, многоканальные управляющие воздействия.

**Цитирование:** Рапопорт, Э.Я. Альтернативный метод в векторных задачах параметрической оптимизации систем с распределёнными параметрами / Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №4(30). – С.615-627. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-615-627.

### Введение

В ряде актуальных для приложений ситуаций возникают трактуемые с позиций системного подхода новые, существенно отличающиеся от традиционных постановки задач оптимального управления (ЗОУ) системами с распределёнными параметрами (СРП) в усложнённых условиях векторной формы предъявляемых требований к критериям эффективности, учитываемым ограничениям и выбору управляющих воздействий. Трудности отыскания алгоритмов оптимизации в векторной задаче оптимального управления (ВЗОУ) значительно

возрастают по сравнению с их известными скалярными частными случаями. В настоящей работе предлагаются конструктивные методы решения подобных ВЗОУ СРП применительно к типичным для приложений оценкам в равномерной метрике точности приближения конечных состояний СРП к требуемым.

Развиваемый подход базируется на процедуре предварительной параметризации искомым управляющим воздействием с помощью известных условий оптимальности и последующей редукции исходной задачи к специальным модификациям задачи математического программирования с бесконечным числом ограничений (задача полубесконечной оптимизации - ЗПО), разрешаемым альтернативным методом, являющимся развитием теории нелинейных чебышёвских приближений применительно к рассматриваемому кругу ЗПО [1, 2].

## 1 Модели и методы многокритериальной оптимизации СРП

Оценка эффективности функционирования сложных управляемых систем как правило производится в приложениях по различным показателям качества, чаще всего конфликтующих друг с другом, что приводит к задаче выбора возможных альтернатив для управляющих воздействий в условиях неопределённости целей процесса управления (многокритериальная задача управления - МЗУ). Отбор приемлемых вариантов производится при этом среди эффективных решений (множество Парето), не улучшаемых ни по одному из критериев без ухудшения показателей по какому-либо из остальных.

Традиционные способы редукции исходной МЗУ к однокритериальной свёртке компонентов векторной целевой функции с заданными весовыми коэффициентами приводят к построению множества Парето путём перебора всех допустимых значений таких коэффициентов, вследствие чего возникает самостоятельная проблема оптимального выбора в пределах этого множества единственной альтернативы в условиях значительного числа возможных вариантов [3-6].

Переход путём соответствующей процедуры нормирования к относительным равнозначным оценкам всех составляющих векторного критерия с последующим использованием их минимаксной (или максиминной) свёртки с единичными весовыми коэффициентами позволяет непосредственно получить парето-эффективное решение многокритериальной задачи, которая в итоге сводится после параметризации искомым управляющим воздействием к специальной задаче математического программирования (ЗМП) с учётом всех изначально заданных ограничений [4, 5].

Применительно к СРП формулируемая в итоге ЗМП принципиально усложняется и принимает вид ЗПО с бесконечным числом ограничений в типичных условиях их оценки в равномерной метрике [1, 2].

Для СРП с управляемой функцией состояния  $Q(X, t)$ , описываемой в пределах односвязной  $m$ -мерной пространственной области  $V \ni X$ ,  $1 \leq m \leq 3$ , с кусочно-гладкой границей  $S$  линейным неоднородным уравнением в частных производных параболического типа с типовыми краевыми условиями и внутренними  $u_V(t)$  или граничными  $u_S(t)$  сосредоточенными управляющими воздействиями, МЗУ формулируется в следующем виде:

$$(1) \quad \begin{aligned} I_{\Sigma} &\rightarrow \min_{u \in \Omega_{\Sigma}}; \\ I_{\Sigma} &= (I_p(u)), \quad p = \overline{1, q}; \quad u \in \{u_V(t), u_S(t)\}; \\ \Omega_{\Sigma} &= \{u : \Phi_{\Sigma}(u) \leq \varepsilon_0; u \in [u_{\min}, u_{\max}]\}; \\ \Phi_{\Sigma}(u) &= \max_{X \in V} |Q(X, t^*) - Q^{**}|. \end{aligned}$$

Здесь  $I_p(u)$  - частные критерии оптимальности, заданные в типовой форме интегральных функционалов качества, общее число которых равно  $q > 1$ ;  $\varepsilon_0$  - заданная точность равномерного приближения состояния  $Q(X, t^*)$  СРП в конечный момент времени  $t = t^*$  к требуемому  $Q^{**}(X) = Q^{**} = \text{const}$ , и  $Q(X, t)$  представляется в форме разложения в сходящийся в среднем ряд по собственным функциям  $\varphi_n(X)$  начально-краевой задачи модели СРП  $Q(X, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \bar{Q}_n(t) \varphi_n(X)$  с коэффициентами (временными модами)  $\bar{Q}_n(t)$ , поведение которых моделируется бесконечной системой обыкновенных дифференциальных уравнений, фигурирующей в качестве модального описания СРП в предлагаемых далее процедурах решения МЗУ [7].

Переход от  $I_p$  к относительным равнозначным оценкам  $\lambda_p(u)$  приводит к минимаксной свертке МЗУ (1) [4]:

$$(2) \quad \lambda(u) = \max_{p \in \{1, q\}} \lambda_p(u) \rightarrow \min_{u \in \Omega_{\Sigma}}; \quad \lambda_p(u) = \frac{I_p(u) - I_p^*}{I_p^0 - I_p^*}; \quad 0 \leq \lambda_p(u) \leq 1, \quad p = \overline{1, q},$$

точка оптимума которой  $u^*$  заведомо принадлежит множеству Парето исходной МЗУ и может рассматриваться в качестве искомого решения задачи (1) [4]. Здесь  $I_p^*$  и  $I_p^0$  - минимальная и «наихудшая» величины  $I_p$  соответственно в условиях заданных ограничений.

Минимаксная задача (2) эквивалентна обычной однокритериальной задаче

$$(3) \quad I = \frac{1}{t^*} \int_0^{t^*} \lambda^0 dt = \lambda^0 \rightarrow \min_{u \in \Omega_{\Sigma}}; \quad \frac{d\lambda^0}{dt} = 0; \quad \lambda_p(u) = \frac{z_p(t^*) - I_p^*}{I_p^0 - I_p^*} \leq \lambda^0, \quad \frac{dz_p}{dt} = f_{0p}(Q, u); \quad p = \overline{1, q};$$

с интегральным функционалом качества (4), ограничениями на величину  $\lambda_p(u)$ , минимизируемым параметром  $\lambda^0 = \text{const}$ , модальным описанием СРП и дополнительными переменными  $z_p(u)$ ,  $p = \overline{1, q}$ , вводимыми наряду с  $\bar{Q} = (\bar{Q}_n)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , где  $f_{0p}(\bar{Q}, u)$  - подынтегральные функции критериев  $I_p(u)$ .

Распространяемая на такую задачу стандартная процедура принципа максимума Понтрягина, как правило, позволяет найти  $u^*(t)$  в форме явной зависимости  $u^{**}(\bar{Q}^*(t), \bar{\Psi}^*(t))$  от соответствующих оптимальному процессу векторов  $\bar{Q}^*$  и  $\bar{\Psi}^*$  модальных составляющих  $Q(X, t)$  и сопряженных переменных  $\bar{\Psi}(t)$  независимо от ограничений на  $Q(X, t^*)$  и  $z_p(t^*)$  в (1) и (3) [2].

Полученные указанным образом зависимости  $u^*(\bar{Q}^*, \bar{\Psi}^*)$  во многих случаях непосредственно устанавливают структуру искомого оптимальных алгоритмов  $u^*(t)$  в форме их параметрического описания с точностью до вектора  $\Delta^{(N)} = (\Delta_i^{(N)})$ ,  $i = \overline{1, N}$ , упорядоченной последовательности конечного числа  $N$  параметров  $\Delta_1^{(N)}, \Delta_2^{(N)}, \dots, \Delta_N^{(N)}$ , непосредственно характеризующих поведение управления  $u^*(t)$  в области его определения [1, 2].

Интегрирование уравнений объекта с параметризованным управлением  $u(\Delta^{(N)}, t)$  приводит в таких случаях к представлению  $I_p$ ,  $\lambda_p$  и конечного состояния  $Q(X, t^*)$  в виде явных

достаточно гладких зависимостей, соответственно,  $I_p(\Delta^{(N)})$ ,  $\lambda_p(\Delta^{(N)})$  и  $Q(X, \Delta^{(N)})$  от  $\Delta^{(N)}$ , если считать известными значения  $I_p^*$  и  $I_p^0$  в (2).

Размерность  $N$  вектора  $\Delta^{(N)}$  устанавливается по известным правилам в зависимости от значения  $\varepsilon_0$  в (1), либо априори фиксируется возможностями технической реализации  $\Delta^{(N)}$  - параметризуемых управляющих воздействий [1, 2].

В результате производится точная редукция задачи (3) к ЗПО

$$(4) \quad I = \lambda^0(\Delta^{(N)}) \rightarrow \min_{\Delta^{(N)}};$$

$$(5) \quad \Phi_{\Sigma}(\Delta^{(N)}) = \max_{X \in V} |Q(X, \Delta^{(N)}) - Q^{**}| \leq \varepsilon_0,$$

$$(6) \quad \lambda_p(\Delta^{(N)}) = \frac{I_p(\Delta^{(N)}) - I_p^*}{I_p^0 - I_p^*} \leq \lambda^0, \quad p = \overline{1, q}$$

на минимум целевой функции (4) конечного числа  $N$  переменных  $\Delta_i^{(n)}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , с бесконечным числом ограничений на величину  $Q(X, \Delta^{(N)})$  для всех  $X \in V$ , которая отличается от её стандартной формулировки в задачах с одним критерием оптимальности [1,2] дополнительными ограничениями (6) на величину  $\lambda_p$ .

Рассматривая вместо (4) критерий оптимальности

$$(7) \quad I_{p_1} = \lambda_{p_1}(\Delta^{(N)}) \rightarrow \min_{\Delta^{(N)}}$$

последовательно для всех  $p_1 = \overline{1, q}$ , получим ряд ЗПО (5), (7), рассмотренного в [1, 2] типового вида, на решениях которых  $\Delta^{(N)} = \Delta^{[p_1]}$ , определяемых по схеме альтернансного метода, вычисляются  $\lambda_p(\Delta^{[p_1]}) \forall p = \overline{1, q}$ . За решение  $\bar{\Delta}^{(N)}$  исходной задачи (4)-(6) принимается  $\Delta^{[p_1^*]}$  при таких  $p_1 = p_1^*$ , для которых выполняются неравенства  $\lambda_p(\Delta^{[p_1^*]}) \leq \lambda_{p_1^*}(\Delta^{[p_1^*]})$  для всех  $p = \overline{1, q}$ .

Это решение обладает альтернансными свойствами [1, 2], порождающими замкнутую относительно всех искомым параметров оптимального процесса систему равенств (8) в некоторых  $R$  точках  $X_j^0 \in V$ .

$$(8) \quad \begin{aligned} |Q(X_j^0, \bar{\Delta}^{(N)}) - Q^{**}| = \varepsilon_0, \quad \frac{\partial}{\partial X} Q(X_{jv}^0, \bar{\Delta}^{(N)}) = 0; \quad X_{jv}^0 \in \text{int}V, \quad j = \overline{1, R}; \quad v = \overline{1, R_1}; \quad R_1 \leq R; \\ R = \begin{cases} N, & \varepsilon_0 > \min \varepsilon(\Delta^{(N)}); \\ N+1, & \varepsilon_0 = \min \varepsilon(\Delta^{(N)}); \end{cases} \\ \min \varepsilon(\Delta^{(N)}) = \min_{\Delta^{(N)}} \left[ \max_{X \in V} |Q(X, \Delta^{(N)}) - Q^{**}| \right]. \end{aligned}$$

При наличии дополнительной информации из предметной области о конфигурации зависимостей  $Q(X, \bar{\Delta}^{(N)})$  на  $V \ni X$ , позволяющей идентифицировать значения  $X_j^0$  и знаки разностей  $Q(X_j^0, \bar{\Delta}^{(N)}) - Q^{**}$ , соотношения (8) трансформируются к системе  $R + R_1$  уравнений относительно  $R + R_1$  неизвестных значений  $\bar{\Delta}_i^{(N)}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ;  $\min \varepsilon(\Delta^{(N)})$ , если  $\varepsilon_0 = \min \varepsilon(\Delta^{(N)})$  и



координат  $X_{jv}^0, v = \overline{1, R_1}$ , точек  $X_{jv}^0 \in \{X_j^0\}$ , решение которой находится известными численными методами и исчерпывает решение исходной задачи МЗУ.

На этом этапе принципиальную роль играют нестандартные процедуры использования в целях получения указанной информации фундаментальных физических характеристик конкретных оптимизируемых процессов, предварительное исследование которых представляет собой отдельную достаточно сложную задачу.

Величины  $I_p^*$  в (2) находятся решением по схеме альтернативного метода частных однокритериальных задач оптимизации с заданными ограничениями вида (1) на точность  $\varepsilon_{0p}$  приближения  $Q_p(X, t^*)$  к  $Q^{**}$  в условиях  $\varepsilon_0 \leq \varepsilon_{0p}, p = \overline{1, q}$ .

Значения  $I_p^0$  могут быть формально определены решениями «обратных» задач на  $\max I_p$  или установлены, исходя из физических соображений.

По найденному указанным способом вектору  $\bar{\Delta}^{(N)}$  и известным зависимостям  $\lambda_p(\bar{\Delta}^{(N)})$  вычисляется минимальное значение  $\lambda_{\min}^0$  целевой функции в (4)

$$(9) \quad \lambda_{\min}^0 = \min_{\Delta^{(N)}} \lambda^0(\Delta^{(N)}) = \lambda^0(\bar{\Delta}^{(N)}) = \max_{p \in \{1, q\}} \lambda_p(\bar{\Delta}^{(N)}),$$

«автоматически» обеспечивая тем самым выполнение требований к  $\lambda_p(\Delta^{(N)})$  в (4).

Исходная ЗПО значительно упрощается как раз в наиболее характерной для приложений ситуации с минимально достижимой величиной  $\varepsilon_0 = \min \varepsilon(\Delta^{(N)})$  в классе  $\Delta^{(N)}$ - параметризуемых управлений и сводится в таком случае к задаче достижения этой величины без дополнительных ограничений [1, 2].

Самостоятельный интерес представляют МЗУ СРП в характерных условиях интервальной неопределённости начальных состояний и неизменных во времени параметрических характеристик объекта управления [8]. Подобные МЗУ сводятся по описанной схеме к разрешаемой альтернативным методом ЗПО, отличающейся от детерминированного варианта, во-первых, оценкой точности  $\varepsilon_0$  равномерного приближения конечного состояния СРП к требуемому на расширенном множестве аргументов, включающем кроме пространственных переменных все возможные реализации неопределённых факторов, и, во-вторых, определением частных критериев оптимальности в форме функций максимума на допустимом множестве изменения учитываемых неопределённых величин.

## 2 Параметрическая оптимизация СРП в задачах с комбинированными требованиями к конечным состояниям объекта

Наряду с ЗОУ, рассматриваемыми в обычных условиях единственного требования к  $\Phi_{\Sigma}(u)$  вида (1), значительный теоретический и практический интерес представляет их расширенная постановка с одновременно предъявляемыми различными ограничениями на оцениваемые в равномерной метрике конечные состояния объекта, отличающимися друг от друга формами их функционального представления  $F(Q(X, t^*))$ , видами эталонных распределений по пространственным координатам  $Q_k^{**}(X)$  и допустимой точностью  $\varepsilon_k$  приближения  $Q(X, t^*)$  к  $Q_k^{**}(X)$ :

$$(10) \quad \Phi_k(u) = \max_{X \in V} |F_k(Q(X, t^*)) - Q_k^{**}(X)| \leq \varepsilon_k, k = \overline{1, w}; w > 1.$$

Подобные ЗОУ СРП возникают, в частности, применительно к техническим объектам с распределёнными параметрами, функционирующим в составе технологических комплексов, взаимосвязи между элементами которых диктуют необходимость перехода к векторному варианту (10).

Так, например, в ЗОУ температурными режимами предварительного нагрева металлических полуфабрикатов в технологических комплексах обработки давлением [9-11] вместе с требованиями к точности равномерного приближения  $Q(X, t^*)$  к  $Q^{**}$  в (1) во многих случаях следует с позиций системного подхода учитывать ограничение на ошибку отклонения  $Q(X, t^*)$  от желаемого стационарного состояния объекта [12] на возможном этапе термостабилизации перед передачей обрабатываемых изделий к деформирующему оборудованию или(и) дополнительное ограничение на погрешность приближения средней на каждом элементе пространственной области температуры к её заданной величине, обеспечивающей минимальное энергопотребление на стадии пластического формоизменения [9, 10].

В однокритериальном варианте с  $q = 1$  в (1) ЗОУ СРП с комбинированными ограничениями (10) редуцируется после параметризации искомым управлением подобно (4), (5) к ЗПО следующего вида

$$(11) \quad I(\Delta^{(N)}) \rightarrow \min_{\Delta^{(N)}};$$

$$(12) \quad \Phi_k(\Delta^{(N)}) = \max_{X \in V} |F_k(Q(X, \Delta^{(N)})) - Q_k^{**}(X)| \leq \varepsilon_k; \quad k = \overline{1, w}; w > 1,$$

где  $w$  требований (12) непосредственно сводятся к единственной оценке дискретной функции максимума по составляющим  $\Phi_k$  в (9), нормируемых с учётом отличающихся значений  $\varepsilon_k$ .

Дальнейший переход к одному эквивалентному ограничению в типовой форме оценки непрерывной функции максимума базового варианта альтернативного метода обеспечивается линейной свёрткой всех компонентов дискретной функции максимума с ограниченной суммой весовых коэффициентов, играющих роль искомым переменных в соответствующей задаче линейного программирования (ЗЛП) на максимум этой свёртки. В итоге ЗОУ СРП с комбинированными ограничениями приводится к типовому виду ЗПО со специальной формой единственного ограничения на точность  $\varepsilon_0$  равномерного приближения результирующего состояния объекта к требуемому, рассматриваемого на расширенном множестве аргументов, в число которых наряду с пространственными координатами входят искомые переменные ЗЛП

$$\bar{a} = (a_k) \in A_w, \quad k = \overline{1, w}, \quad \text{изменяющиеся в пределах типового симплекса } A_w = \{\bar{a}_k \geq 0, \sum_{k=1}^w a_k = 1\}$$

и заведомо являющиеся координатами вершин многогранника допустимых решений ЗЛП:

$$(13) \quad I(\Delta^{(N)}) \rightarrow \min_{\Delta^{(N)}}; \quad \Phi_0(\Delta^{(N)}) = \max_{y \in V_1} \sum_{k=1}^w a_k \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_k} |F_k(Q(X, \Delta^{(N)})) - Q_k^{**}(X)| \leq \varepsilon_0,$$

где в качестве  $\varepsilon_0$  может быть выбрана любая величина  $\varepsilon_\eta, \eta \in \{\overline{1, w}\}$ . Здесь  $y = (X, \bar{a})$ ,  $X \in V, V_1 = V \times A_w, a_{k_j} = 1, j = \overline{1, w_1}$  и заведомо при некоторых  $k = k_j \in \{\overline{1, w}\}$  получаем  $a_{k_j} = 1, j = \overline{1, w_1}; 1 \leq w_1 \leq w$ , где  $w_1 \geq 1$  - число активных ограничений в (12).

Конструктивный вычислительный алгоритм решения задачи (13) по схеме альтернативного метода, усложняемый необходимостью предварительного выделения  $w_1$  активных ограничений из общего их числа  $w$  в (12), приведён в [13].

### 3 Метод параметрической оптимизации в задачах многоканального управления системами с распределёнными параметрами

Целый ряд актуальных для приложений ЗОУ СРП формулируется в условиях одновременного воздействия на объект по различным каналам управления [14-16].

Самостоятельный достаточно общий класс задач подобного типа возникает для  $\sigma > 1$  взаимосвязанных СРП [16-25] с использованием управляющих воздействий  $U(t)$

$$(14) \quad \begin{aligned} U(t) \in \{u_m(t) : u_m(t) \in \{u_{V_m}(t), u_{S_m}(t)\}; u_{m \min} \leq u_m(t) \leq u_{m \max}; \\ u_{V_m}(t) = (u_{V_{ml}}), l = \overline{1, l_{V_m}}; u_{S_m}(t) = (u_{S_{ml}}), l = \overline{1, l_{S_m}}; m = \overline{1, \sigma}; \sigma > 1\} \end{aligned}$$

в виде совокупности различных для каждого  $m$ -го объекта ( $m \in \overline{1, \sigma}$ ) векторных сосредоточенных внутренних  $u_{V_m}(t)$  или граничных  $u_{S_m}(t)$  управляющих воздействий с фиксированным характером их пространственного распределения, где для простоты исключается случай их совместного применения. Частный случай  $\sigma > 1$  в (14) соответствует задаче векторного управления одним объектом.

С помощью аналитических условий оптимальности может быть получено подобно предыдущим задачам параметрическое представление каждой  $l$ -ой компоненты искомых управлений  $u_m(t)$  в (14) с точностью до однозначно характеризующего управляющие воздействия  $u_m(t)$  оптимальной структуры вектора  $\Delta_l^{(m)} = (\Delta_{lk}^{(m)})$ ,  $l = \overline{1, l_m}$ ;  $l_m \in \{l_{V_m}, l_{S_m}\}$ ;  $k = \overline{1, N_{l_m}}$ , определённым образом упорядоченной последовательности конечного числа  $N_{l_m}$

параметров  $\Delta_{lk}^{(m)}$ , общее количество которых равно  $N = \sum_{m=1}^{\sigma} \sum_{l=1}^{l_m} N_{l_m}$ .

В итоге, аналогично (11), (12) осуществляется редукция исходной ЗОУ к ЗПО следующего вида:

$$(15) \quad I(\Delta^\Sigma) \rightarrow \min_{\Delta^\Sigma}; \max_{X_m \in V_m} |Q_m(X_m, \Delta^\Sigma) - Q_m^{**}(X_m)| \leq \varepsilon_m, m = \overline{1, \sigma},$$

где  $\Delta^\Sigma = (\Delta_l^{(m)})$ ,  $m = \overline{1, \sigma}$ ;  $l = \overline{1, l_m}$  и  $\varepsilon_m$ - заданная точность равномерного приближения конечного состояния  $m$ -ой управляемой величины  $Q_m(X_m, \Delta^\Sigma)$  к требуемому  $Q_m^{**}(X_m)$  в пространственной области  $V_m$  изменения пространственных координат  $X_m$   $m$ -го объекта в системе взаимосвязанных СРП.

Решение задачи (15) может быть получено по схеме альтернативного метода, однако технология его применения существенно усложняется по сравнению с одноканальным управлением увеличенной размерностью вектора  $\Delta^\Sigma$ , многовариантным набором правил выбора чисел  $N_{l_m}$  в этих условиях; специфическим требованием одинаковой длительности процесса управления для всех компонентов управляющих воздействий, ограничивающим свободу их независимого друг от друга выбора, и необходимостью идентификации конфигураций оптимальных конечных пространственных распределений каждой из управляемых величин в условиях их зависимости от всех внешних воздействий.

### 4 Оптимальное управление объектом технологической теплофизики

В качестве примера, представляющего самостоятельный интерес, рассмотрим задачу оптимального по быстродействию управления температурными режимами индукционного нагрева металлических заготовок перед последующей обработкой давлением с описанием

температурного поля  $Q(x, t)$  нагреваемой заготовки цилиндрической формы в зависимости от радиальной координаты  $x$  и времени  $t$  линейным одномерным неоднородным уравнением теплопроводности в относительных единицах с классическими краевыми условиями третьего рода и внутренним сосредоточенным управляющим воздействием по мощности электромагнитных источников тепла при заданных допустимых пределах её изменения [11].

К результирующему температурному состоянию  $Q(x, t^*)$ , достигаемому в конечный момент  $t^*$  процесса нагрева, одновременно предъявляются два требования вида (10): равномерного нагрева до заданной температуры  $Q^{**} = \text{const}$  с допустимой погрешностью  $\varepsilon_1$  при  $k = 1$ ,  $F_1(Q(x, t^*)) = Q(x, t^*)$  в (10) и обеспечения допустимой точности  $\varepsilon_2$  равномерного приближения средней величины  $Q_c(x, t^*)$  разности  $Q(x, t^*) - Q^{**}$  к нулю на любом отрезке  $[0, x]$ ,  $x \leq 1$ , вдоль радиуса цилиндра при  $k = 2$ ,

$$(16) \quad \left| F_2(Q(x, t^*)) - Q^{**} \right| = \left| Q_c(x, t^*) \right| = \left| \frac{2}{x^2} \int_0^x [Q(\eta, t^*) - Q^{**}] \eta d\eta \right|$$

в (10), исходя из типичных требований к средней температуре деформируемого изделия на всём протяжении последующих операций его пластического формоизменения [9, 10].

Процедура принципа максимума Понтрягина обеспечивает параметризованное представление оптимального по быстродействию управляющего воздействия с точностью до вектора  $\Delta^{(N)} = (\Delta_i^{(N)})$ ,  $i = \overline{1, N}$ , конечного числа  $N$  параметров  $\Delta_1^{(N)}, \Delta_2^{(N)}, \dots, \Delta_N^{(N)}$ , в роли которых фигурируют длительности интервалов постоянства искомым управлений релейной формы, попеременно принимающих на отрезке  $[0, t^*] \ni t$  только свои априори фиксируемые предельно допустимые значения [2]. Интегрирование уравнений объекта с параметризованным указанным образом управлением позволяет получить конечное распределение температур и значение критерия оптимальности  $I = t^*$  в форме явных достаточно гладких зависимостей  $Q(x, \Delta^{(N)})$ ,  $I(\Delta^{(N)})$  от своих аргументов.

В результате производится точная редукция исходной задачи оптимального быстродействия к ЗПО вида (11), (12) на минимум функции  $I(\Delta^{(N)})$  конечного числа переменных  $\Delta_i^{(N)}$ ,  $i = \overline{1, N}$ :

$$(17) \quad I(\Delta^{(N)}) = \sum_{i=1}^N \Delta_i^{(N)} \rightarrow \min_{\Delta^{(N)}}, \text{ —}$$

с бесконечным числом ограничений, диктуемых требованиями вида (12) для всех  $x \in [0, 1]$ :

$$(18) \quad \Phi_1(\Delta^{(N)}) = \max_{x \in [0, 1]} \left| Q(x, \Delta^{(N)}) - Q^{**} \right| \leq \varepsilon_1;$$

$$(19) \quad \Phi_2(\Delta^{(N)}) = \max_{x \in [0, 1]} \left| \frac{2}{x^2} \int_0^x [Q(\eta, \Delta^{(N)}) - Q^{**}] \eta d\eta \right| \leq \varepsilon_2.$$

Здесь критерий оптимальности  $I$  в (17), равный продолжительности процесса нагрева, представляется простой суммой длительностей  $\Delta_i^{(N)}$  интервалов постоянства оптимального управления  $u_1^*$ .



Зависимость  $Q(x, \Delta^{(N)})$  в (18), (19) определяется известным разложением в ряд по собственным функциям рассматриваемой начально-краевой задачи [11], а условия (18), (19) приводятся к единственному ограничению вида (13) при выборе  $\varepsilon_0 = \varepsilon_1$ :

$$(20) \quad \Phi_0(\Delta^{(N)}) = \max_{y \in V_1} \left\{ a_1 |Q(x, \Delta^{(N)}) - Q^{**}| + a_2 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \left| \frac{2}{x^2} \int_0^x [Q(\eta, \Delta^{(N)}) - Q^{**}] \eta d\eta \right| \right\} \leq \varepsilon_1,$$

где функция максимума рассматривается в отличие от (18), (19) на расширенном множестве  $V_1$  элементов  $y = (x, a_1, a_2)$ , содержащем наряду с пространственными переменными  $x \in [0, 1]$  коэффициенты  $a_1, a_2 \geq 0$ , связанные равенством  $a_1 + a_2 = 1$ .

Решения  $\bar{\Delta}^{(N)}$  ЗПО (17), (20) могут быть найдены по общей технологии применения альтернансного метода, описанной в разделе 2, с использованием дополнительной информации о форме кривой пространственного распределения температуры в конце оптимального по быстродействию процесса индукционного нагрева, устанавливаемой на базе физических закономерностей поведения нестационарных температурных полей с внутренними электромагнитными источниками тепла и позволяющей перейти от замкнутой системы соотношений вида (5) к расчётной системе уравнений, разрешаемой относительно всех искомых неизвестных [11].

На рисунках 1, 2 представлены некоторые результаты решения предлагаемым способом задачи (17)-(19) оптимизации процесса индукционного нагрева перед прессованием цилиндрических слитков из титановых сплавов диаметром 0.54 м на промышленной частоте 50 Гц при максимальной поверхностной плотности нагрева 106 кВт/м<sup>2</sup> до температуры  $Q^{**} = 1050^\circ\text{C}$ .

Результирующие распределения температур (1 – для  $Q(x, \Delta^{[k]}) - Q^{**}$ , 2 – для  $Q_c(x, \Delta^{[k]})$ ) в конце оптимального по быстродействию процесса управления с учётом только одного из ограничений (18), (19) при заданных значениях  $\varepsilon_1 = 60^\circ$ ,  $\varepsilon_2 = 25^\circ$  показаны на рисунке 1а ( $k = 1$ ,  $\Delta_1^{[1]} = 5882\text{с}$ ;  $\Delta_2^{[1]} = 605\text{с}$ ) и 1б ( $k = 2$ ,  $\Delta_1^{[2]} = 5921\text{с}$ ;  $\Delta_2^{[2]} = 883\text{с}$ ), где  $\Delta^{[1]}$  - решение задачи (17), (18), а  $\Delta^{[2]}$  - задачи (17), (19). Как следует из рисунка 1, здесь  $\max_x |Q_c(x, \Delta^{[1]})| > \varepsilon_2$  и  $\max_x |Q(x, \Delta^{[2]}) - Q^{**}| > \varepsilon_1$ , что свидетельствует о необходимости перехода к решению задачи быстродействия с учётом обоих ограничений, согласно предложенному в [13] вычислительному алгоритму.

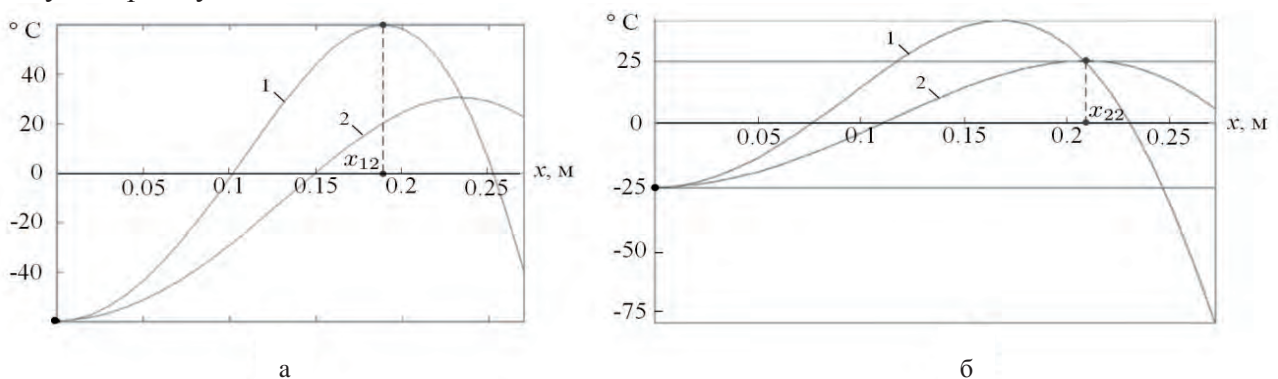


Рисунок 1 - Сравнительный анализ решений задачи оптимального быстродействия с одним ограничением

Полученные результаты представлены на рисунке 2 (а – для  $qQ_c(x, \bar{\Delta}^{(1)})$  при  $\varepsilon' = \varepsilon_{\min}^{(1)} = 263^\circ$ ;  $\bar{\Delta}_1^{(1)} = 6109$  с; б – для  $\varepsilon' = 105^\circ < \varepsilon_{\min}^{(1)}$ ;  $\bar{\Delta}_1^{(2)} = 5983$  с,  $\bar{\Delta}_2^{(2)} = 602$  с; в – для  $\varepsilon' = \varepsilon^* = \varepsilon_{\min}^{(2)} = 65^\circ \approx \varepsilon_1$ ;  $\bar{\Delta}_1^{(2)} = 5938$  с,  $\bar{\Delta}_2^{(2)} = 821$  с).

На рисунке 2 (б и в) кривые 1 и 2 иллюстрируют конечные температурные распределения соответственно  $Q(x, \bar{\Delta}^{(2)}) - Q^{**}$  и  $qQ_c(x, \bar{\Delta}^{(2)})$ .

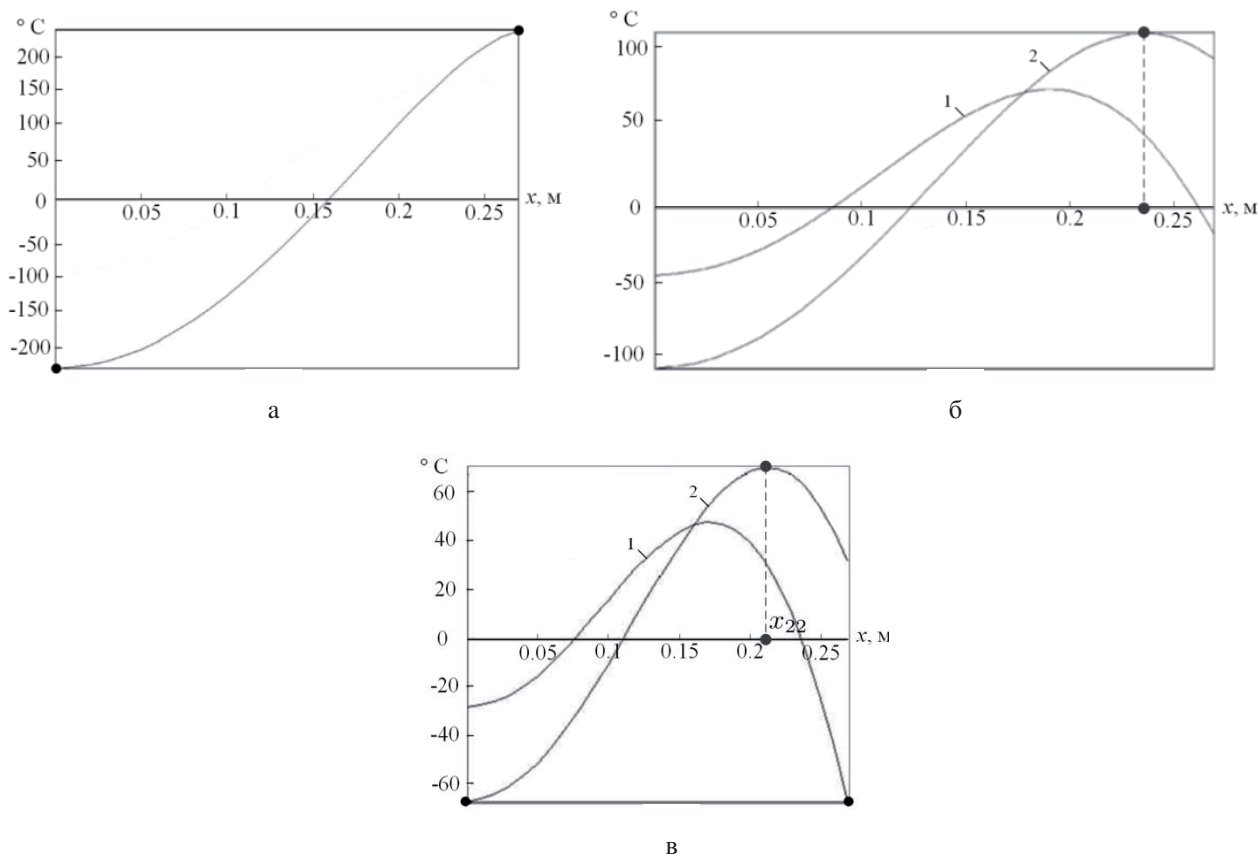


Рисунок 2 - Решение задачи оптимального быстродействия с двумя ограничениями  $q = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 2,4$

## Заключение

Разработан конструктивный метод решения широкого круга параметризуемых задач программного оптимального управления системами с распределёнными параметрами в условиях оценки в равномерной метрике целевых множеств управляемой величины, усложняемых векторной формой предъявляемых требований к критериям оптимальности, учитываемым ограничениям на конечное состояние объекта и числу используемых управляющих воздействий. Показано, что на этот круг задач может быть распространён по предлагаемой технологии разработанный ранее авторами для скалярных вариантов специальный альтернативный метод поиска искомых экстремалей, являющийся дальнейшим развитием теории нелинейных чебышёвских приближений.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-08-00048).

## Список источников

- [1] *Рапопорт, Э.Я.* Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации / Э.Я. Рапопорт. - М.: Наука, 2000. – 336 с.
- [2] *Рапопорт, Э.Я.* Оптимальное управление системами с распределенными параметрами / Э.Я. Рапопорт. - М.: Высшая школа, 2009. - 677 с.
- [3] *Гермейер, Ю.Б.* Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. - М.: Наука, 1971. - 383 с.
- [4] *Машунин, Ю.К.* Методы и модели векторной оптимизации / Ю.К. Машунин. - М.: Наука, 1986. - 141 с.
- [5] *Корнеев, В.П.* Методы оптимизации / В.П. Корнеев. - М.: Высш. шк., 2007. - 664 с.
- [6] *Токарев, В.В.* Методы оптимальных решений. Т.2. Многокритериальность. Динамика. Неопределённость / В.В. Токарев. - М.: Физматлит, 2011. - 416 с.
- [7] *Рапопорт, Э.Я.* Программная управляемость линейных многомерных систем с распределёнными параметрами / Э.Я. Рапопорт // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2015. - №2. - С. 22-39.
- [8] *Рапопорт, Э.Я.* Робастная параметрическая оптимизация динамических систем в условиях ограниченной неопределённости / Э.Я. Рапопорт // Автоматика и телемеханика. - 1995. - №3. - С. 86-96.
- [9] *Бутковский, А.Г.* Оптимальное управление нагревом металла / А.Г. Бутковский, С.А. Малый, Ю.Н. Андреев. - М.: Металлургия, 1972. – 439 с.
- [10] *Бутковский, А.Г.* Управление нагревом металла / А.Г. Бутковский, С.А. Малый, Ю.Н. Андреев. - М.: Металлургия, 1981. - 271 с.
- [11] *Рапопорт, Э.Я.* Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева / Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева. – М.: Наука, 2012.- 309 с.
- [12] *Рапопорт, Э.Я.* Минимаксная оптимизация стационарных состояний в системах с распределёнными параметрами / Э.Я. Рапопорт // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. - №2. - С. 3-18.
- [13] *Pleshivtseva, Yu.E.* Parametric Optimization of Systems with Distributed Parameters in Problems with Mixed Constraints on the Final State of the Object of Control / Yu.E. Pleshivtseva, E.Ya. Rapoport // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2018. - Vol. 57, No5.- P. 723-737.
- [14] *Маковский, В.А.* Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами / В.А. Маковский. - М.: Металлургия, 1971. - 384 с.
- [15] *Рей, У.* Методы управления технологическими процессами/ У. Рей. - М.: Мир, 1983. - 386 с.
- [16] *Бутковский, А.Г.* Методы управления системами с распределенными параметрами/А.Г. Бутковский. - М.: Наука, 1975. - 568 с.
- [17] *Бутковский, А.Г.* Структурная теория распределенных систем /А.Г. Бутковский. - М.: Наука, 1977. – 320 с.
- [18] *Бегимов, И.* Структурное представление физически неоднородных систем / И. Бегимов, А.Г. Бутковский, В.Л. Рожанский // Автоматика и телемеханика. - 1982. - №9. - С. 25-35.
- [19] *Бегимов, И.* Структурное представление двумерных неоднородных систем с распределёнными параметрами / И. Бегимов, А.Г. Бутковский, В.Л. Рожанский // Автоматика и телемеханика. - 1984. - №5. - С. 5-16.
- [20] *Демиденко, Н.Д.* Управляемые распределённые системы / Н.Д. Демиденко. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 390 с.
- [21] *Буглак, Л.И.* Автоматизация методических печей / Л.И. Буглак, И.Б. Вольфман, С.Ю. Ефроймович, Г.К. Захаров, М.Д. Климовицкий, А.М. Сегаль. - М.: Металлургия, 1981. - 196 с.
- [22] *Дегтярев, Г.Л.* Теоретические основы оптимального управления упругими космическими аппаратами / Г.Л. Дегтярев, Т.К. Сиразетдинов. - М.: Машиностроение, 1986. - 214 с.
- [23] *Шашков, А.Г.* Системно-структурный анализ процесса теплообмена и его применение / А.Г. Шашков. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 279 с.
- [24] *Чермак, И.* Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Петерка, И. Заворка. - М.: Мир, 1972. - 623 с.
- [25] *Малков, А.В.* Синтез распределённых регуляторов для систем управления гидротитосферными процессами /А.В. Малков, И.М. Першин. - М.: Научный мир, 2007. - 252 с.

## ALTERNANCE METHOD IN VECTOR PROBLEMS OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

E.Ya. Rapoport<sup>1</sup>, Yu.E. Pleshivtseva<sup>2</sup>

Institute of Control of Complex Systems, RAS, Samara, Russia

<sup>1</sup>edgar.rapoport@mail.ru, <sup>2</sup>yulia\_pl@mail.ru

### Abstract

Constructive methods are proposed for solving a wide range of vector problems of optimal control of systems with distributed parameters (DPS) under the conditions when an accuracy of uniform approximation to the required final state of an object is prescribed on a set of spatial arguments of a controlled quantity. After the transition to the relative equivalent estimates of particular efficiency criteria the problems of vector (multi-criteria) optimization are reduced to a single-criterion version in the form of a variational problem with an integral quality criterion and with the new restrictions on the final values of the additional phase variables of the extended DPS' model. Vector (combined) constraints on the final state of the DPS are replaced by one constraint on their linear combination, which is presented in the uniform metric on the extended set of arguments, including (besides the spatial variables) the weight factors of the summable components that vary within the standard simplex. The problems of vector (multichannel) control by one or by a system of interconnected distributed objects are considered under the conditions of a specific requirement of the same duration of the control process for all control actions. Further procedures of preliminary parameterization of control actions carried out using well-known analytical conditions of optimality provide accurate reduction of the initial statements to complicated modifications of semi-infinite programming problems, which are applied to computational algorithms developed earlier by the authors for the scalar version of the alternance method of searching for the desired extremals based on their Chebyshev properties. An example of independent solution of a vector problem of optimal control of an object of technological thermophysics is given.

**Key words:** systems with distributed parameters, optimal control, vector (multi-criteria) optimization, vector (combined) constraints, vector (multi-channel) control actions.

**Citation:** Rapoport EYa, Pleshivtseva YuE. Alternance method in vector problems of parametric optimization of systems with distributed parameters [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 615-627. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-615-627.

### Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-08-00048).

### References

- [1] **Rapoport EYa.** Alternance method of parametric optimization in applied optimization problems [In Russian]. -. Moscow: Nauka; 2000.
- [2] **Rapoport EYa.** Optimal control of systems with distributed parameters [In Russian]. - Moscow: Vysshaya shkola; 2009.
- [3] **Germeyer YuB.** Introduction into the theory of operational analysis [In Russian]. - Moscow: Nauka; 1971.
- [4] **Mashunin YuK.** Methods and models of vector optimization [In Russian]. - Moscow: Nauka; 1986.
- [5] **Korneenko VP.** Methods of optimization [In Russian]. - Moscow: Vysshaya shkola; 2007.
- [6] **Tokarev V.V.** Methods of optimal solutions. V.2. Multi-criteriality. Dynamics. Uncertainty [In Russian]. - Moscow: Phisimatlit; 2011.
- [7] **Rapoport EYa.** Program controllability of linear multi-dimensional systems with distributed parameters [In Russian]. *Izvestiya RAS. Theory and systems of control* 2015; 2: 22-39.
- [8] **Rapoport EYa.** Robust parametric optimization of dynamic systems under conditions of limited uncertainty [In Russian]. *Avtomatika i telemekhanika*. 1995; 3: 86-96.
- [9] **Butkovskiy AG, Malyy SA, Andreev YuN.** Optimal control of metal heating [In Russian]. - Moscow: Metallurgy; 1972.
- [10] **Butkovskiy AG, Malyy SA, Andreev YuN.** Control of metal heating [In Russian]. - Moscow: Metallurgy; 1981.

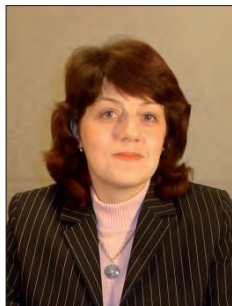
- [11] **Rapoport EYa, Pleshivtseva YuE.** Optimal control of temperature modes of induction heating [In Russian]. - Moscow: Nauka; 2012.
- [12] **Rapoport EYa.** Minimax optimization of stationary states of distributed parameters systems // Izvestiya RAS. Theory and control systems. 2013; 2: 3-18.
- [13] **Pleshivtseva YuE., Rapoport EYa.** Parametric Optimization of Systems with Distributed Parameters in Problems with Mixed Constraints on the Final State of the Object of Control. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2018; 57(5): 723-737.
- [14] **Makovskiy VA.** Dynamics of metallurgical objects with distributed parameters [In Russian]. - Moscow: Metallurgy; 1971.
- [15] **Rey U.** Methods of control of technological processes [In Russian]. - Moscow: Mir; 1983.
- [16] **Butkovskiy AG.** Methods of control of systems with distributed parameters [In Russian]. - Moscow: Nauka; 1975.
- [17] **Butkovskiy A.G.** Structural theory of distributed systems [In Russian]. - Moscow: Nauka; 1977.
- [18] **Begimov I, Butkovskiy AG, Rozhanskiy VL.** Structural representation of physically heterogeneous systems [In Russian]. Avtomatika i telemekhanika. 1982; 9: 25-35.
- [19] **Begimov I, Butkovskiy AG, Rozhanskiy VL.** Structural representation of two-dimensional heterogeneous systems with distributed parameters [In Russian]. Avtomatika i telemekhanika. 1984; 5: 5-16.
- [20] **Demidenko ND.** Controlled distributed systems [In Russian]. - Novosibirsk: Nauka, 1999.
- [21] **Buglak LI, Volfman IB, Yefroymovich SYu, Zakharov GK, Klimovitskiy MD, Segal AM.** Automation of methodical heaters [In Russian]. - Moscow: Metallurgy; 1981.
- [22] **Degtyarev GL, Sirazetdinov TK.** Theoretical foundations of optimal control of elastic spacecraft [In Russian]. - Moscow: Mashinostroenie; 1986.
- [23] **Shashkov AG.** System-structural analysis of process of heat exchange and its application [In Russian]. - Moscow: Energoatomizdat; 1983.
- [24] **Chermak I, Peterka V, Zavorka I.** Dynamics of regulated systems in heat-and-power engineering and chemistry [In Russian]. - Moscow: Mir; 1972.
- [25] **Malkov AV, Pershin IM.** Synthesis of distributed regulators for systems of control of hydro lithosphere processes [In Russian]. - Moscow: Nauchnyj mir; 2007.

### Сведения об авторах



**Рапопорт Эдгар Яковлевич**, 1936 г. рождения. Окончил Куйбышевский индустриальный институт в 1959 г., д.т.н. (1984). Профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Самарского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники РФ. В списке научных трудов 8 монографий и более 350 работ в области теории моделирования и оптимального управления системами с распределёнными параметрами.

**Edgar Yakovlevich Rapoport** (b. 1936) graduated from the Kuibyshev Polytechnic Institute (Kuibyshev-city) in 1959, Doctor of Science (1984). He is Professor at Samara State Technical University (Department of automatics and control in technical systems), Honoured Worker of science and technology of Russian Federation. He has 8 monographs and more than 350 scientific publications in the field of simulation and optimal control of systems with distributed parameters.



**Пleshivцева Юлия Эдгаровна**, 1965 г. рождения. Окончила Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева в 1987 г., д.т.н. (2009). Профессор кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» Самарского государственного технического университета, почетный работник высшего образования РФ. В списке научных трудов 3 монографии и более 150 публикаций в области теории оптимального управления системами с распределёнными параметрами.

**Yuliya Edgarovna Pleshivtseva** (b. 1965) graduated from the Kuibyshev Polytechnic Institute (Kuibyshev-city) in 1987, Doctor of Science (2009). She is Professor at Samara State Technical University (Department of Control and System Analysis in Heat-and-Power Engineering), co-author of 3 monographs and more than 150 publications in the field of theory of optimal control of systems with distributed parameters.



УДК 621.45.01:004.945

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КРУПНОФОРМАТНЫХ ДАННЫХ О ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ КОРЗИНАХ

И.А. Олянич<sup>1,a</sup>, П.Г. Серафимович<sup>1,2,b</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

<sup>a</sup>14124123@mail.ru,

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия

<sup>b</sup>serafimovich.pg@ssau.ru

### Аннотация

В статье рассмотрены алгоритмы проектирования рекомендательных систем на основе анализа данных о продуктовых покупках пользователей одного из крупных онлайн-ритейлеров. Используя современные методы хранения и анализа данных, эффективные рекомендательные системы позволяют формировать покупательский интерес клиентов и повысить стоимость среднего чека в отдельных заказах. В статье описана построенная аппаратно-программная система на облачных веб-сервисах Amazon EMR и S3. С помощью данной системы изучен исходный набор данных, построены типовые примеры рекомендаций и впервые произведено сравнение алгоритмов Alternating Least Squares и Singular Value Decomposition на облачном сервисе для анализа продуктовых онлайн покупок. Рассмотрено применение фреймворков Apache Hadoop и Apache Spark для анализа крупноформатных данных о потребительских корзинах. В статье выполнен анализ пиковых дней недели и ранжирована загруженность в течение дня. Найдены популярные категории товаров. Классифицирован спрос на различные группы товаров по дням недели и частота покупок. Выявлены зависимости между первым и последующими заказами, популярные товары при первом и последующих заказах, изменения предпочтений клиентов с течением времени.

**Ключевые слова:** проектирование рекомендательных систем, Hadoop, Spark, коллаборативная фильтрация, матричная факторизация.

**Цитирование:** Олянич И.А. Сравнительное исследование алгоритмов проектирования рекомендательных систем на основе анализа крупноформатных данных о потребительских корзинах / И.А. Олянич, П.Г. Серафимович // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №4(30). – С.628-640. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-628-640.

### Введение

Понятие Big data включает в себя набор технологий и инструментов для хранения и обработки больших объёмов данных [1]. Анализ данных в рекомендательных системах служит для поиска полезных зависимостей в поведении пользователей [2-4]. Данные зависимости могут использоваться как в режиме реального времени, так и при пакетном анализе заданного временного промежутка. Рекомендательные системы могут использоваться на различных по тематике сайтах. Например, в интернет-журнале пользователю могут рекомендоваться статьи в соответствии с его интересами. В интернет-магазине эффективная рекомендательная система позволит одновременно увеличить прибыль и повысить удобство потребителя.

Целью данной работы является *изучение* шаблонов поведения пользователей сайта, *разработка* аппаратно-программной архитектуры для обработки больших объёмов данных, *реа-*

лизация алгоритмов построения рекомендательных систем Alternating Least Squares (ALS) и Singular Value Decomposition (SVD) и их сравнение.

## 1 Базовые подходы

Различают два базовых подхода к построению рекомендательных систем:

- коллаборативная фильтрация (*collaborative filtering*);
- контентная фильтрация (*content-based filtering*).

Применяются также гибридные подходы, которые сочетают в себе и то, и другое. Однако сложность таких систем значительно выше [5].

Рекомендательная система строится по тренировочным данным. Оценка качества построенных рекомендательных систем осуществляется следующей метрикой:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

где  $P_i$  - предсказанная  $i$ -ая оценка;  $O_i$  - её реальное значение в тестовых данных;  $n$  - общее число тестовых оценок.

### 1.1 Коллаборативная фильтрация

В коллаборативной фильтрации можно выделить два базовых метода – это рекомендации, ориентированные на пользователей (*user-based collaborative filtering*) и рекомендации, ориентированные на продукты (*item-based collaborative filtering*).

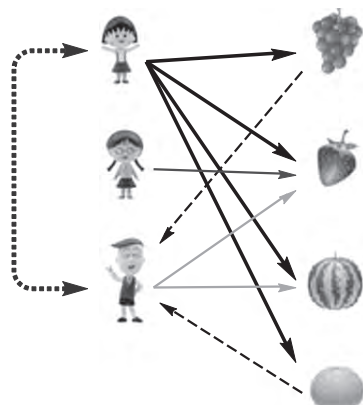


Рисунок 1 – *User-based* подход

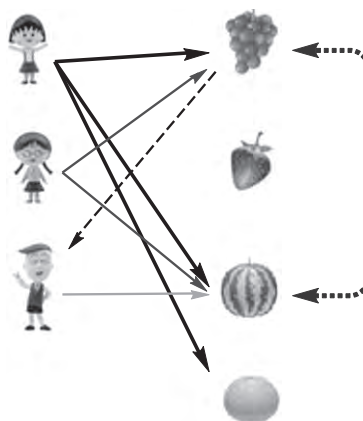


Рисунок 2 – *Item-based* подход

*User-based* подход предполагает предложение товаров, которые покупали пользователи со схожими вкусами. При этом производится усреднение рейтинга товара, оценённого другими пользователями, с учётом степени схожести пользователей [6]. Идею данного метода иллюстрирует рисунок 1 [7]. Из рисунка можно видеть, что между пользователями 1 и 3 имеется явная схожесть в выборе продуктов, следовательно, опираясь на опыт пользователя 1, составляют рекомендации для пользователя 3.

*Item-based* метод предполагает предложение товаров, которые схожи с теми, что были ранее приобретены пользователем. Производится усреднение рейтинга уже оцененных товаров с учётом степени схожести с не оценённым пока товаром. Идею данного метода представляет рисунок 2 [7].

На рисунке 2 пользователю 3 рекомендуется виноград в дополнение к арбузу, так как, опираясь на информацию о корзинах других пользователей, можно заключить, что эти товары часто покупаются вместе [7].

Рекомендательным системам на основе коллаборативной фильтрации присущ недостаток, называемый проблемой «холодного старта». Данная проблема характерна как для *user-based*, так для *item-based* систем.

Т.к. *user-based* система не обладает информацией о новых пользователях, то, как следствие, она не может предлагать им рекомендации. В качестве разрешения данной проблемы можно предложить собирать некоторую информацию

при регистрации, т.е. выполнять так называемый явный сбор данных.

Если не предоставлять *item-based* системе информации о новых объектах, то, как следствие, они никому не будут рекомендоваться. Это можно разрешить анализом свойств объектов при их добавлении, выявляя их характеристики и особенности.

## 1.2 Контентная фильтрация

Основной идеей контентной фильтрации (фильтрации, основанной на содержимом) является предположение о том, что пользователю интересны объекты, похожие на объекты, которые уже были интересны пользователю ранее [8, 9]. При этом в отличие от коллаборативной фильтрации схожесть объектов определяется не набором действий пользователей, а характеристиками самого объекта. Главной трудностью при построении систем контентной фильтрации является проблема выделения признаков описаний объектов. В последнее время для автоматического выделения признаков описаний объектов часто используются методы глубокого обучения.

## 2 Алгоритм ALS

Исходные данные для рекомендательной системы обычно имеют вид крупноформатной разреженной матрицы  $A$ , которая описывает связи пользователей и продуктов. В этой матрице элемент в строке  $i$  и столбце  $j$  указывает оценку пользователя  $i$  продукту  $j$ . Для построения рекомендательной системы в соответствии с алгоритмом ALS матрица  $A$  факторизуется. Т.е. матрица  $A$  представляется как произведение двух матриц  $X$  и  $Y$ . Высота матрицы  $X$  соответствует высоте матрицы  $A$  (количеству пользователей), высота матрицы  $Y$  соответствует ширине матрицы  $A$  (количеству объектов). Две остальных размерности матриц  $X$  и  $Y$  равны одному значению  $k$ . Значение  $k$  соответствует количеству латентных факторов, которые выявляются при факторизации. Схему такой факторизации иллюстрирует на рисунок 3 [10].

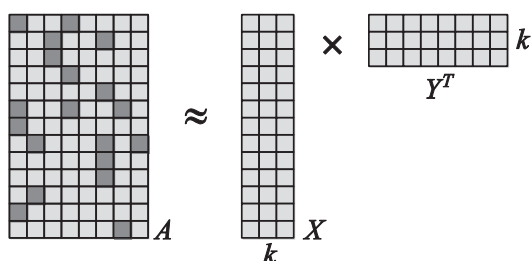


Рисунок 3 – Факторизация матрицы

Подобный алгоритм факторизации часто называется алгоритмом заполнения матрицы. Учитывая то, что исходная матрица  $A$ , как правило, является разреженной, произведение  $X$  и  $Y^T$  предоставляет значение для каждого элемента в матрице  $A$ .

Таким образом, матрица  $X$  может быть интерпретирована как отношение «пользователь-фактор», а матрица  $Y$  как отношение «фактор-продукт» [11-13].

В алгоритме ALS, при вычислении  $X$  и  $Y$  на основе чередующихся наименьших квадратов, матрица  $Y$  инициализируется случайными числами. Алгоритм является итеративным, и на каждой итерации рассчитываются матрицы  $X$  и  $Y$ . Чтобы рассчитать строку  $i$  матрицы  $X$  как функцию от  $Y$  и строки  $i$  матрицы  $A$ , используется выражение:

$$(1) \quad A_i \cdot Y \cdot (Y^T \cdot Y)^{-1} = X_i$$

Данный расчёт может быть выполнен параллельно для каждой строки матрицы  $X$ . Аналогичное (1) выражение используется, чтобы рассчитать подматрицу  $Y_j$  на основе матрицы  $X$ . В процессе итераций минимизируется квадратичная ошибка представления матрицы  $A$  произведением матриц  $XY^T$ .

### 3 Алгоритм SVD

В алгоритме SVD исходная матрица  $A$  представляется в виде сингулярного разложения:  $A = UDV^T$ . При этом матрицы  $U$  и  $V$  — ортогональные, а  $D$  — диагональная. Если размер матрицы  $A$  —  $N \times M$ , то размер матриц  $U$  и  $V$  —  $N \times k$  и  $k \times M$  соответственно, где  $k$  — ранг матрицы  $A$ . Учитывая то, что разреженные матрицы часто обладают небольшим рангом, количество параметров сокращается с  $N \times M$  до  $(N+M) \times k$ .

$$A = UDV^T = U \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_k \end{pmatrix} V^T$$

В диагональной матрице  $D$  диагональные сингулярные элементы упорядочены по убыванию:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_k$ . Разложение SVD обеспечивает оптимальное приближение при обнулении заданного количества наименьших сингулярных значений.

Чтобы уточнить оценки, предоставляемые алгоритмом SVD, используются поправочные коэффициенты, называемые предикторами  $b_{i,a}$ :

$$b_{i,a} = \mu + b_i + b_a,$$

где  $\mu$  — средний рейтинг продуктов в матрице  $A$ ,  $b_i$  — средний рейтинг  $i$  пользователя,  $b_a$  — средний рейтинг продукта.

### 4 Технологии Big Data

Существует множество различных технологий обработки крупноформатных данных. В данной работе используются два фреймворка для сбора данных, их хранения и обработки — Hadoop и Spark [14].

#### 4.1 Apache Hadoop

Фреймворк Hadoop состоит из четырёх главных компонент:

- 1) HDFS (распределенная файловая система);
- 2) MapReduce (алгоритмический подход к обработке данных);
- 3) YARN (система планирования заданий и управления ресурсами кластера);
- 4) Common (набор общих утилит и библиотек).

Hadoop также использует вспомогательные модули Hbase, Zookeeper, Oozie, Pig и Hive. Каждый из модулей является отдельным программным пакетом. Поэтому можно использовать только ту часть из них, которая необходима.

#### 4.2 Apache Spark

Apache Spark — это фреймворк с открытым исходным кодом для параллельной и распределённой обработки и анализа слабоструктурированных данных в оперативной памяти [15].

Главными преимуществами Spark являются высокая производительность, особенно по сравнению с MapReduce, и поддержка четырёх языков программирования — Scala, Java, Python и R. Если при выполнении программы Spark хранит данные в оперативной памяти, то ускорение по сравнению с Hadoop может достигать 100 раз. Spark может запускаться на кластерах Apache Hadoop, на отдельном кластере или на облачных платформах и может обращаться к различным источникам данных, таким как HDFS, Apache Cassandra, Apache Hbase или же Amazon S3.

Фреймворк Spark состоит из нескольких компонент. Модуль SparkCore является основной фреймворка. Он обеспечивает распределенную диспетчеризацию, планирование и базовые функции ввода-вывода. SparkSQL использует структуру данных, называемую DataFrames и выступает в качестве распределенного механизма запросов SQL, что позволяет ускорять выполнение запросов HadoopHive в 100 раз. SparkStreaming является инструментом для обработки потоковых данных. Модуль Mlib позволяет строить модели машинного обучения. GraphX используется для работы с данными, представленными в виде графа.

## 5 Выбор технологий для обработки данных и построения архитектуры приложения

Для обработки крупноформатных данных использовался облачный сервис AmazonAWS, который имеет лучшее соотношение функциональности и цены по сравнению с конкурентами. В AmazonAWS были задействованы модули AmazonEMR и AmazonS3. Первоначально пользователь загружает данные в облачное хранилище AmazonS3, в котором они могут храниться при отключенном кластере. Затем данные передаются в вычислительный кластер Spark, который выполняет их обработку. Готовый результат передаётся в хранилище AmazonS3, в котором будут храниться уже обработанные данные.

## 6 Поиск шаблонов и разработка рекомендательных систем

Для апробации выбранной технологии исследовались данные о продуктовых покупках пользователей одного из крупных онлайн-ритейлеров. Решались следующие задачи:

- обнаружение пиковых дней недели;
- анализ загруженности в течение дня;
- нахождение популярных категорий товаров;
- анализ спроса на различные группы товаров по дням недели;
- анализ частоты покупок;
- выявление зависимостей между первым и последующими заказами;
- нахождение популярных товаров при первом и последующих заказах;
- анализ изменения предпочтений клиентов с течением времени;
- анализ применения построенных рекомендательных систем на примере нескольких людей/товаров.

Анализ спроса на продукты в разные дни недели показал (рисунок 4), что воскресенье и понедельник являются пиковыми днями. Со вторника по четверг идёт значительное снижение спроса, а в пятницу и субботу виден небольшой подъём.



Рисунок 4 – Распределение спроса на доставку продуктов по дням недели



Был изучен спрос на продукты в течение дня и выявлены пиковые часы. Частота покупок достигает наибольшей величины в период с 8:00 до 18:00 часов как показано на рисунке 5.

На рисунке 6 отображён спрос на различные группы товаров по дням недели.

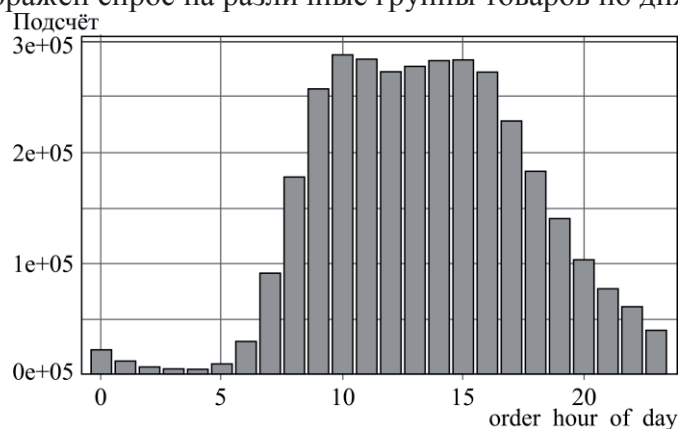


Рисунок 5 – Распределение спроса на доставку продуктов в течение суток

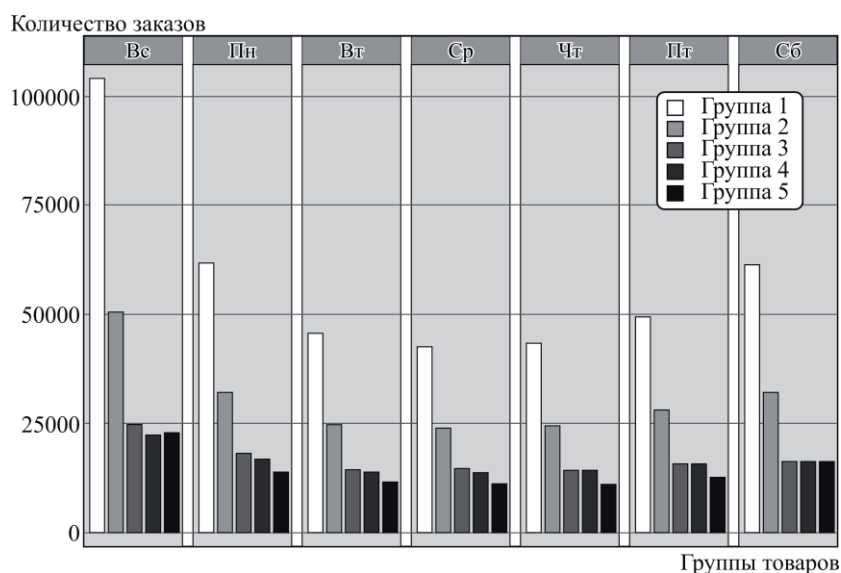


Рисунок 6 – Спрос на различные группы товаров по дням недели

Здесь 1-й столбец гистограммы (группа 1) означает овощи и фрукты, 2-й - молочные продукты, 3-й - чипсы и печенье, 4-й - напитки и чай, 5-й - замороженные продукты. Анализ гистограммы показывает, что в воскресенье присутствует повышенный спрос на свежие фрукты и овощи, а также молочную продукцию. Объём продаж других групп товаров находится в течение недели примерно на одном уровне. Данная информация может быть полезна отделу логистики компании при планировании закупок.

Выявлены дни недели, в которые ожидается наибольший рост новых клиентов. Рисунок 7 показывает, что график прихода новых пользователей имеет те же пиковые дни, что и график с общим числом заказов.

Анализ популярности категорий продуктов, которые покупаются при первом заказе, может помочь более точно настроить рекомендательную систему. Возможно, клиенты не готовы сразу покупать скоропортящиеся товары и хотят опробовать сервис, заказав что-то из бакалей или напитков.

Однако рисунок 8 показывает, что рейтинг товаров в первом заказе практически идентичен общей популярности товаров по дням недели. Отсюда можно сделать вывод, что сделан-

ное предположение, о котором говорят некоторые маркетологи, неверно. Пользователи при первом заказе готовы выбирать из всего ассортимента товаров, не боясь, что им привезут плохо выбранные фрукты или испорченную молочную продукцию. Следовательно, в рекомендации новым пользователям стоит включать эти группы товаров.

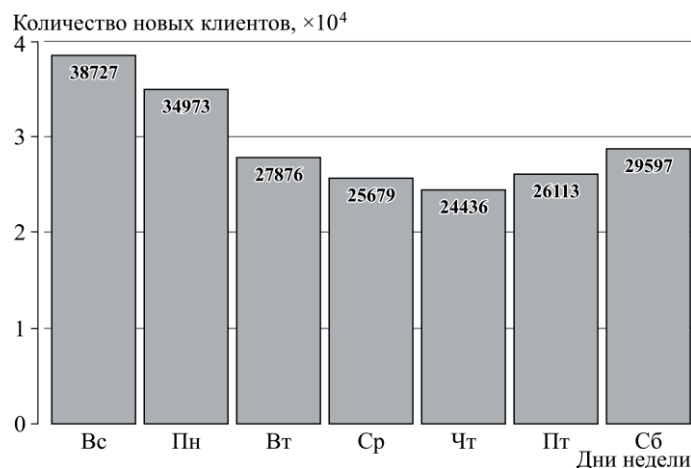


Рисунок 7 – График прихода новых клиентов по дням недели

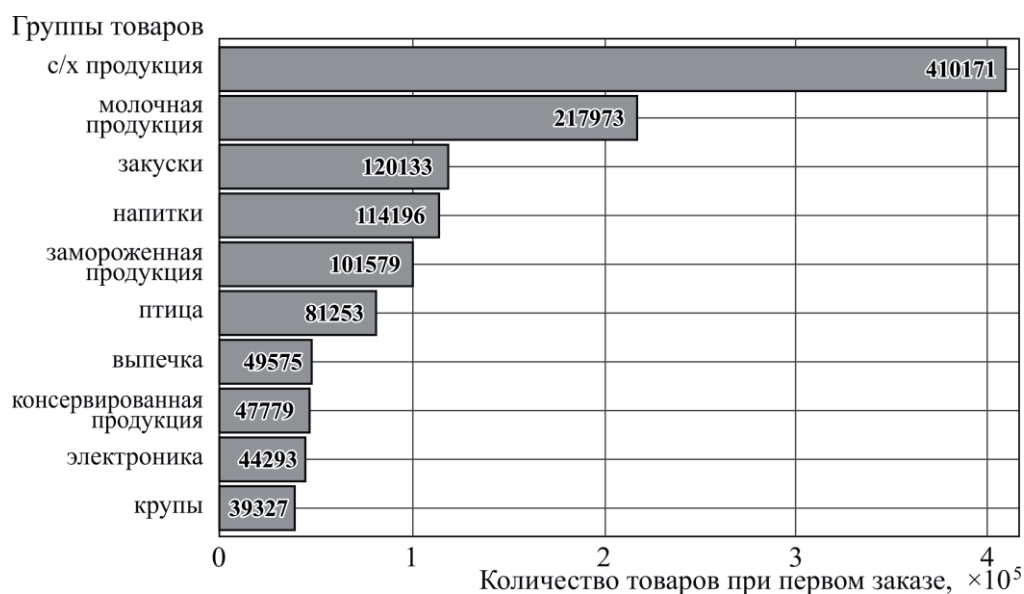


Рисунок 8 – Рейтинг групп товаров при первом заказе

Выяснялось, с какой периодичностью клиенты делают повторные покупки. Эта информация окажется полезной при проведении рекламных кампаний. Рисунок 9 показывает, что наиболее часто люди покупают с периодичностью 7 и 30 дней. Также присутствует большая группа клиентов, делающих повторный заказ спустя период от 3 до 6 дней.

Можно сделать вывод, что люди, покупающие продукты в воскресенье, понедельник и пятницу, чаще остальных делают повторную покупку через неделю. Люди, покупающие во вторник, среду и четверг, чаще других могут вернуться к покупкам раньше недельного срока. Отметим, что покупки спустя месяц показали наиболее стабильный результат. Вероятно, это можно объяснить периодичностью получения заработной платы.

Частота повторных покупок по дням недели показана на рисунке 10.

Рисунок 11 показывает распределение количества товаров в одном заказе. Как видно из графика, наиболее часто встречаются наборы от 5 до 10 товаров.

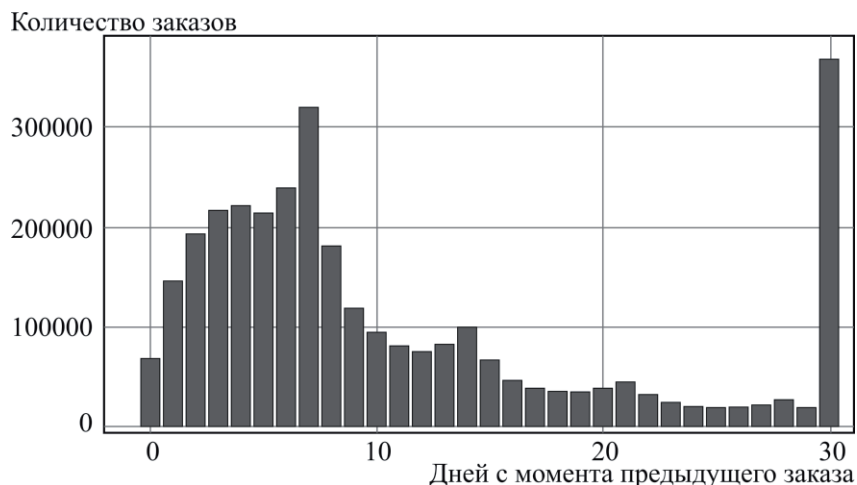


Рисунок 9 – Распределение повторных покупок по дням в течение месяца

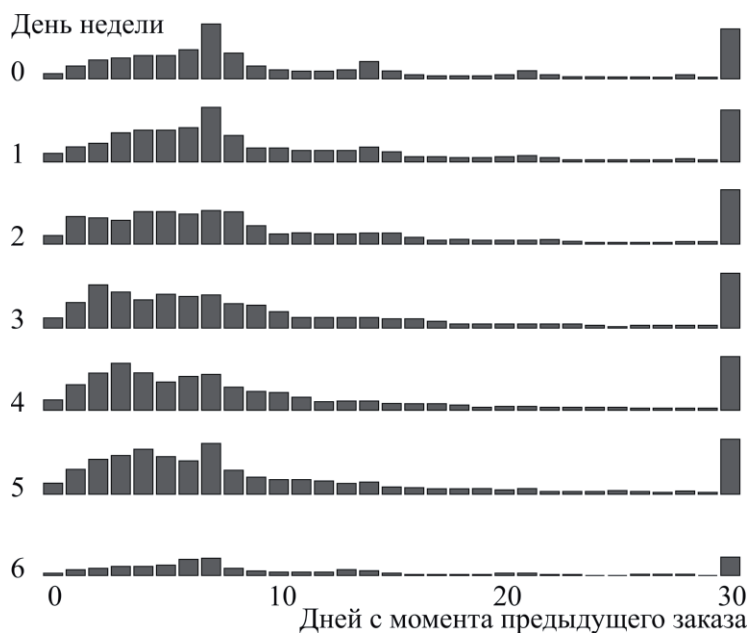


Рисунок 10 – Зависимость частоты повторных покупок от дня недели

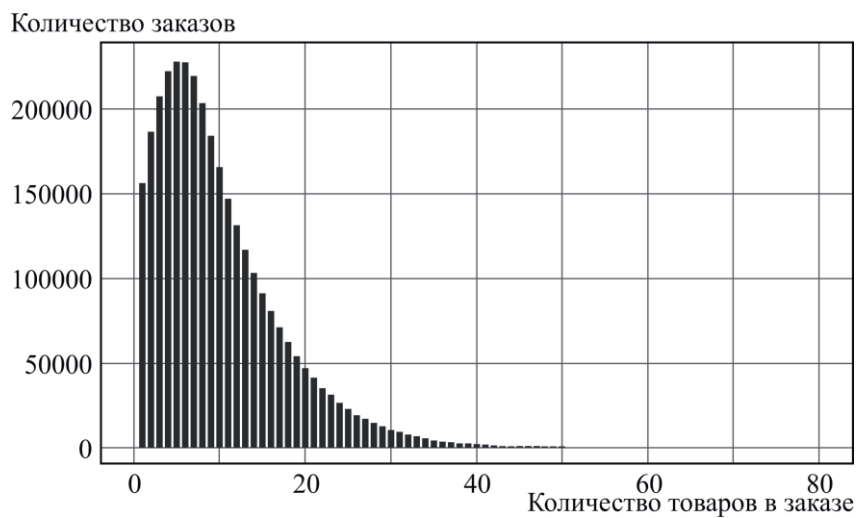


Рисунок 11 – Распределение товаров в заказе

Рисунок 12 показывает распределение спроса на различные продукты. С большим отрывом лидируют фрукты. В частности, бананы занимают два первых места. Эта информация может быть использована при составлении рекомендаций для новых пользователей, о которых первоначально ничего неизвестно.

Получена информация, как часто меняется выбор клиентов при повторном заказе. В частности, рисунок 13 показывает, что более 50% людей изменяют свою продуктовую корзину при последующих заказах. Это стимулирует строить более разнообразные рекомендации в том числе для клиентов, с устоявшимися вкусами.

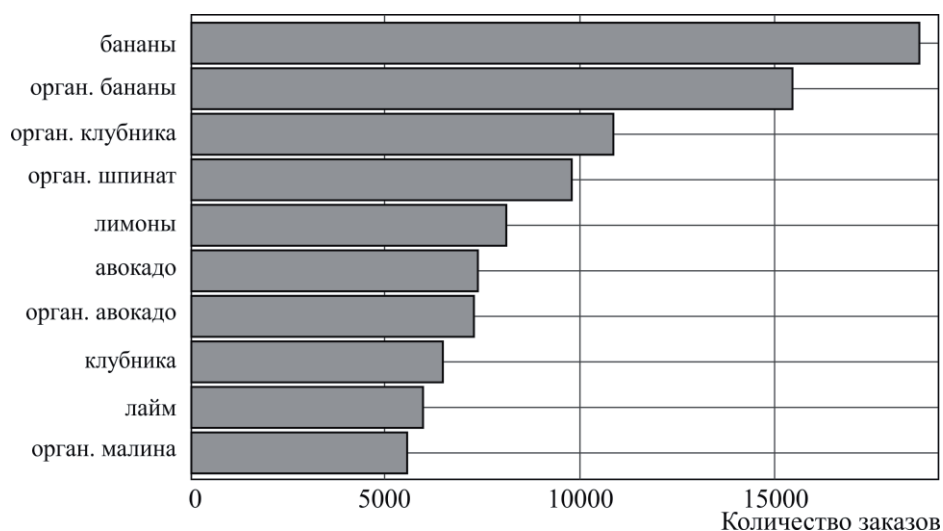


Рисунок 12 – 10 наиболее популярных продуктов

Распределение наиболее популярных продуктов среди повторных покупок (рисунок 14) показало, что лидирующие бананы опустились на шестую строчку, а остальные фрукты отсутствуют в распределении. Клиенты больше заказывают молочную продукцию и напитки. Было выявлено, что чем меньше проходит времени с момента первой покупки, тем больше вероятность изменения состава товаров в новом заказе. Установлено, что повторные покупки, осуществляемые спустя 30 дней, меньше отличаются от первой.

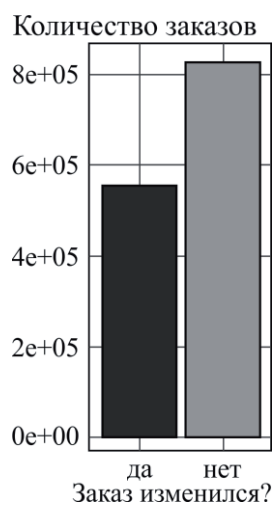


Рисунок 13 – Изменения продуктовой корзины при повторном заказе

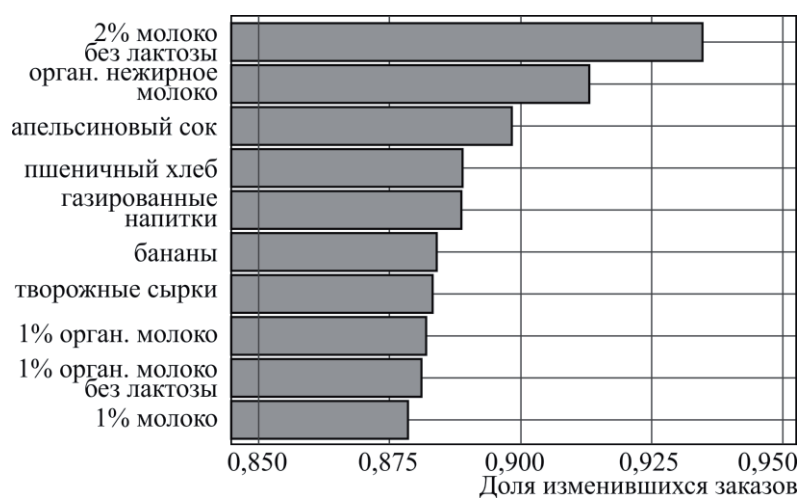


Рисунок 14 – Рейтинг популярности продуктов при повторных покупках

## 7 Сравнение алгоритмов построения рекомендательных систем

В вычислительных экспериментах сравнивались два алгоритма построения рекомендательных систем – ALS и SVD. В качестве исходных данных обрабатывались различные наборы пользовательских корзин - от 100 тысяч до 3 миллионов. Время построения рекомендательной системы для каждого набора данных показано на рисунке 15.

Из приведённых на рисунке 15 сведений можно сделать вывод, что при малом объёме данных оба алгоритма показывают примерно одинаковый результат, однако с увеличением объёма исходных данных алгоритм ALS ( - - - ) работает быстрее, чем алгоритм SVD (----). Таким образом, для интеграции с онлайн-магазином и обновления информации в режиме реального времени [14] алгоритм ALS выглядит предпочтительней.

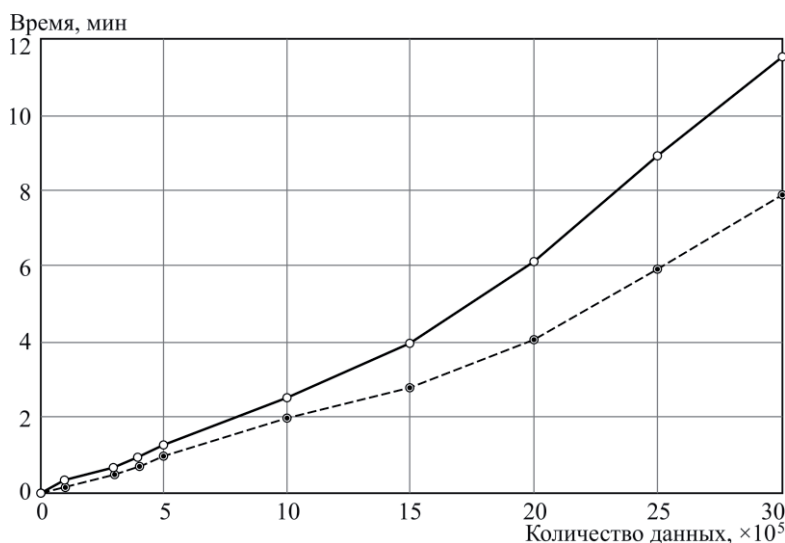


Рисунок 15 – Время построения рекомендательной системы для различных объёмов исходных данных

Для оценки качества рекомендаций принята широко используемая метрика RMSE [2, 3]. Результат исследования на тестовом наборе данных представлен в таблице 1. Видно, что ALS уступает в точности SVD. При этом изменение количества данных незначительно влияет на значение RMSE. Также алгоритм SVD показывает более точные результаты при малых объёмах исходных данных. Таким образом, при построении рекомендательной системы в пакетном режиме предпочтительным является алгоритм SVD. Для обработки данных в режиме реального времени имеет смысл выбирать алгоритм ALS.

Таблица 1 – Оценка качества полученных рекомендаций

Количество данных	RMSE (алгоритм ALS)	RMSE (алгоритм SVD)
500 000	1,59854	1,29951
1 000 000	1,59815	1,29947
1 500 000	1,59793	1,29945
2 000 000	1,59792	1,29945
2 500 000	1,59791	1,29943
3 000 000	1,59787	1,29941

### Заключение

В работе построена аппаратно-программная платформа на облачных веб-сервисах Amazon, которая позволяет обрабатывать большие объёмы данных. Произведено отображение



алгоритмов ALS и SVD на архитектуру вычислительного кластера в составе облачного сервиса и выполнено их сравнение. Модульность разработанного решения позволяет при необходимости доработать его под новые требования. Произведён анализ данных одного из крупных онлайн-ритейлеров и выявлен ряд зависимостей, которые могут быть использованы при построении эффективных рекомендательных систем.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-47-630662).

### Список источников

- [1] Что такое Big data: собрали все самое важное о больших данных. Rusbase. - <https://rusbase/howto/chto-takoe-big-data>.
- [2] **Bell, R.** Matrix factorization techniques for recommender systems / R. Bell, Y. Koren, C. Volinsky // Computer. – 2009. – Vol. 42, Issue 8. – P. 30-37. – DOI: 10.1109/MC.2009.263.
- [3] **Wang, W.** Using singular value decomposition approximation for collaborative filtering / W. Wang, J. Pearlman, S. Zhang, J. Ford, F. Makedon // Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology (CEC'05)(CEC), Munich, Germany. – 2005. – P. 257-264. – DOI: 10.1109/ICEST.2005.102.
- [4] **Bokde, D.** Matrix factorization model in collaborative filtering algorithms: A survey / D. Bokde, S. Girase, D. Mukhopadhyay // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 49. – P. 136-146.
- [5] **Вячитов, Д.** Data Mining – интеллектуальный анализ данных. Компания iTeam / Д. Вячитов. – [http://iteam.ru/publications/it/section\\_92/article\\_1448](http://iteam.ru/publications/it/section_92/article_1448).
- [6] **Гусев, П.** Введение в ассоциативные правила. DataReview информационный портал / П. Гусев. – <https://datareview.info/article/vvedenie-v-associativnie-pravila>.
- [7] Recommender systems 101. – <https://d4datascience.wordpress.com/2016/07/22/recommender-systems-101/comment-page-1/>.
- [8] **Чубакова, И.А.** Data Mining / И.А. Чубакова. – М.: Бином, 2008. – 324 с.
- [9] Технологии анализа данных: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP / А.А. Барсегян [и др.]. – М.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
- [10] **Но, В.** Advanced Recommendation Engines / В. Но. – <https://bigr.io/advanced-recommendation-engines/>.
- [11] **Шалаев, С.** Эволюция рекомендательных сервисов. Firma портал / С. Шалаев. – <http://firma.ru/data/articles/5006>.
- [12] **Nee, D.** Collaborative filtering using alternating least squares / D. Nee. – <http://danielnee.com/art/1999>.
- [13] Introduction to recommendation engine. – <https://dataaspirant.com/2015/01/24>.
- [14] **Манн, К.** Распределённые вычисления с помощью Hadoop. IBM developer works / К. Манн. – <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/1-hadoop>.
- [15] **Пигенский, К.** Знакомство с Apache Spark. Хабрхабр / К. Пигенский. – <https://habr.ru/blog/276675>.

## COMPARATIVE STUDY OF THE ALGORITHMS OF DESIGN OF RECOMMENDATION SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF BIG DATA ON CONSUMER BASKETS

I.A. Olyanich<sup>1,a</sup>, P.G. Serafimovich<sup>1,2,b</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia

<sup>a</sup>14124123@mail.ru,

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of the RAS, Samara, Russia

<sup>b</sup>serafimovich.pg@ssau.ru

### Abstract

The article describes the algorithms for building recommender systems based on the analysis of data on grocery purchases of users of one of the largest online retailers. Using modern methods of data storage and analysis, effective recommender systems allow, in particular, to form the customers' interest and to increase the value of the average bill in individual orders. The article describes a built-in hardware and software system on Amazon cloud web services. Using this system, the initial data set was studied, typical examples of recommendations were constructed and the ALS and SVD algorithms were compared. We considered the use of frameworks Apache Hadoop and Apache Spark for the analysis of large format data on consumer baskets. The article analyzes the peak days of the week and workload during the day. Found popular product categories. We studied the demand for various groups of goods by day of the week and the frequency of purchases. The dependencies between the first and subsequent orders, popular products for the first and subsequent orders, and also changes in customer preferences over time were identified.

**Key words:** design of recommendation systems, Hadoop, Apache, collaborative filtering, matrix factorization, alternating least squares, singular-value decomposition.

**Citation:** Olyanich IA, Serafimovich PG. Comparative study of the algorithms of design of recommendation systems based on the analysis of big data on consumer baskets [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(4): 628-640. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-628-640.

### Acknowledgment

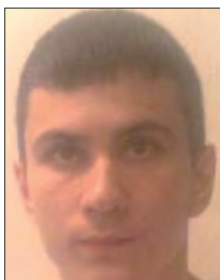
This work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 17-47-630662).

### References

- [1] What is Big data: collected all the most important about big data. Rusbase [In Russian]. - <https://rusbase/howto/chto-takoe-big-data>.
- [2] **Bell R, Koren Y, Volinsky C.** Matrix factorization techniques for recommender systems. *Computer* 2009; 42(8): 30-37. - DOI: 10.1109/MC.2009.263.
- [3] **Wang W, Pearlman J, Zhang S, Ford J, Makedon F.** Using singular value decomposition approximation for collaborative filtering. Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology (CEC'05)(CEC), Munich, Germany 2005: 257-264. - DOI: 10.1109/ICECT.2005.102.
- [4] **Bokde D, Girase S, Mukhopadhyay D.** Matrix factorization model in collaborative filtering algorithms: A survey, *Procedia Computer Science* 2015; 49: 136-146.
- [5] **Vyachitov D.** Data Mining – data mining. ITeam Company [In Russian]. - [http://iteam.ru/publications/it/section\\_92/article\\_1448](http://iteam.ru/publications/it/section_92/article_1448).
- [6] **Gusev P.** Introduction to associative rules. DataReview information portal [In Russian]. - <https://datareview.info/article/vvedenie-v-associativnie-pravila>.
- [7] Recommender systems 101. – <https://d4datascience.wordpress.com/2016/07/22/recommender-systems-101/comment-page-1/>.
- [8] **Chubakova IA.** Data Mining [In Russian]. Moscow: “Binom” Publ.; 2008.

- [9] **Barsegyan AA**, [et al.]. Data analysis technologies: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP [In Russian]. Moscow: "BHV-Petersburg" Publ.; 2007.
- [10] **Ho, B.** Advanced Recommendation Engines / B. Ho. – <https://bigr.io/advanced-recommendation-engines/>.
- [11] **Shalaev S.** Evolution of recommendatory services. Firma portal [In Russian]. - <https://firma.ru/data/articles/5006>.
- [12] **Nee D.** Collaborative filtering using alternating least squares. - <http://danielnee.com/art/1999>.
- [13] Introduction to recommendation engine. - <https://dataaspirant.com/2015/01/24>.
- [14] **Mann K.** Distributed computing using Hadoop. IBM developer works. [In Russian].- <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/1-hadoop>.
- [15] **Pigensky K.** Acquaintance with Apache Spark. Habrahabr [In Russian]. - <https://habr.ru/blog/276675>.
- 

## Сведения об авторах



**Олянич Игорь Анатольевич**, 1994 г. рождения. Аспирант Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева.

**Igor Anatolievich Olyanich** (b. 1994) postgraduate of Samara University named after academician S.P. Korolev.

**Серафимович Павел Григорьевич**, окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1989 г., д.ф.-м.н. (2016). Доцент кафедры технической кибернетики Самарского университета, старший научный сотрудник Института систем обработки изображений РАН. В списке научных трудов более 50 работ в области проектирования программных средств распределённой и параллельной обработки крупноформатных данных, методов машинного обучения, моделирования и проектирования устройств микрооптики.



Параллельной обработки крупноформатных данных, методов машинного обучения, моделирования и проектирования устройств микрооптики.

**Pavel Grigorievich Serafimovich** graduated from the Korolyov aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1989, D. Sc. Phys.-Math. (2016). He is an assistant professor of technical cybernetics department of Samara University and senior researcher at the Image Processing Systems Institute of the RAS. He is an author and co-author of more than 50 publications in the field of parallel and distributed data-intensive computing, machine learning, and design of micro-optic devices.

Индекс 29151

# 30-й юбилейный выпуск



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



Издательство «Новая техника» - Publisher «New Engineering» Ltd  
Россия, 443010, Самара, ул.Фрунзе 145 - 145, Frunze Str., Samara, 443010, Russia