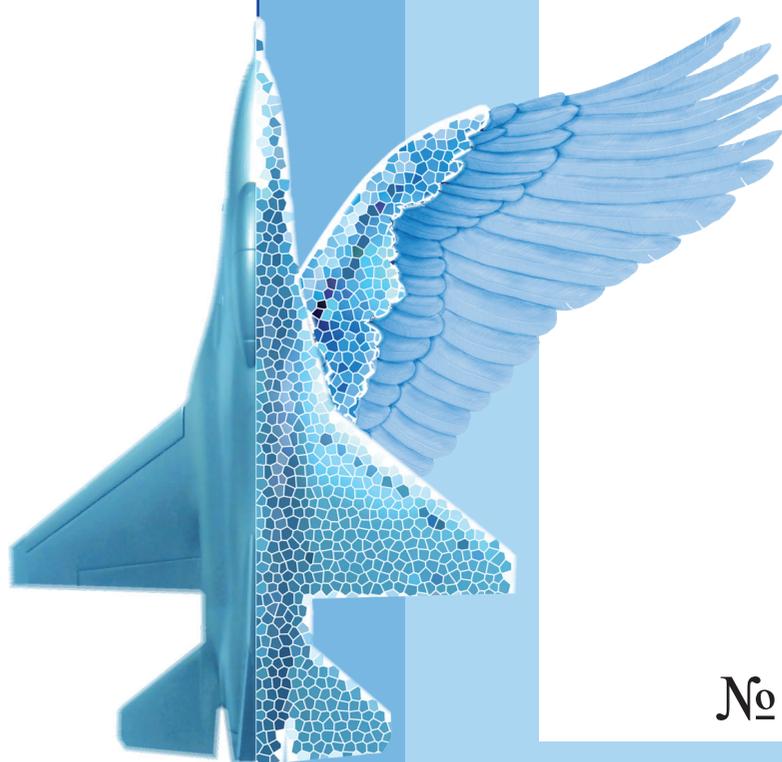


# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



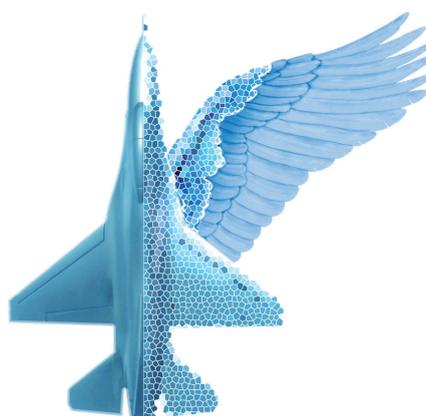
Том 9  
№ 2(32)/2019

**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

Том 9

№ 2(32)



## 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. Golenkov	Голенков Владимир Васильевич*, д.т.н., профессор, БГУИР, Минск
Vladimir I. Gorodetsky	Городецкий Владимир Иванович*, д.т.н., профессор, ООО «ИнфоВингс», Санкт-Петербург
Valeriya V. Gribova	Грибова Валерия Викторовна*, д.т.н., с.н.с., ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
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, СамГТУ, Самара
Valery A. Komarov	Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, Самарский университет, Самара
Vladik Kreinovich	Крейнович Владик, профессор, Техасский университет Эль Пасо, Эль Пасо
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, Московский город.педагог.университет, Самара
Yury M. Reznik	Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, Москва
George Rzevski	Ржевский Георгий, профессор, Открытый университет, Лондон
Roman O. Samsonov	Самсонов Роман Олегович, д.т.н., Самарский университет, Самара
Peter O. Skobelev	Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», Самара
Sergey V. Smirnov	Смирнов Сергей Викторович*, д.т.н., ИПУСС РАН, член ИАОА, Самара
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович*, д.т.н., профессор, УлГТУ, Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шекетович*, д.т.н., профессор, академик 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, Нур-Султан
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

Lead Editor	Samsonov R.O.	Шеф-редактор	Самсонов Р.О.	Первый проректор Самарского университета
Chief Editor	Skobelev P.O.	Главный редактор	Скобелев П.О.	директор НПК «Разумные решения»
Deputy Chief Editor	Smirnov S.V.	Зам. главного редактора	Смирнов С.В.	зам. директора ИПУСС РАН по науке
Executive Editor	Borgest N.M.	Выпускающий редактор	Боргест Н.М.	директор издательства «Новая техника»
Editor	Kozlov D.M.	Редактор	Козлов Д.М.	доцент Самарского университета
Technical Editor	Simonova A.U.	Технический редактор	Симонова А.Ю.	редактор издательства «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](mailto: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](mailto: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 2014-2017 and journal received the ICV (Index Copernicus Value) of 67.46 points (2014), 67.64 (2015), 77.98 (2016), 87.78. (2017).

Журнал включён в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук (Письмо Департамента аттестации научных и научно-педагогических работников Минобрнауки РФ от 01.12.2015 № 13-6518) по научным специальностям 05.13.01, 05.13.17, 05.13.18 и 05.07.02, 05.07.05 (с 26.03.2019).

Журнал включён в РИНЦ. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 0,968 (2013), 0,895 (2014), 1,305 (2015), 1,055 (2016), 0,841 (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 № ФС77-46447 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., 2011-2019  
© Самарский университет - Samara University, 2015-2019  
© ИПУСС РАН - ICCS RAS, 2015-2019



Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.  
Дата выхода 30.06.2019. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОТ РЕДАКЦИИ</b>	
ИЗМЕРЯТЬ НЕИЗМЕРИМОЕ	173-174
<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ</b>	
<b>Р.О. Самсонов, А.Ю. Нестеров</b>	175-190
ИННОВАЦИОННОЕ ПОНЯТИЕ «КОСМОС» В ТРАНСФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСИТЕТА	
<b>С.В. Микони</b>	191-202
ОБОБЩЁННАЯ ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В КОНЦЕПЦИИ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	
<b>ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	
<b>А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына</b>	203-213
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ КОРРЕКТИРОВКЕ ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ	
<b>С.С. Сосинская, Р.С. Дорофеев, А.С. Дорофеев</b>	214-224
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЙТИНГА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ОНТОЛОГИИ	
<b>А.Г. Массель, Д.А. Гаськова</b>	225-238
ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА УГРОЗ И ОЦЕНКИ РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	
<b>Д.В. Трошин</b>	239-252
МЕТОДИКА АНАЛИЗА РИСКОВ И УГРОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ	
<b>МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>	
<b>А. Голами, О. Кошелева, В. Крейнович</b>	253-260
КАК ОБЪЯСНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕУГОЛЬНЫХ И ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В ПРИЛОЖЕНИЯХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ	
<b>А.А. Жиляев</b>	261-281
ОНТОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ	
<b>С.А. Пиявский</b>	282-298
ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ПРИНЯТИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ	
<b>Коммюнике онтологического саммита 2019: ОБЪЯСНЕНИЕ</b>	299-300

## CONTENT

<b>FROM THE EDITORS</b>	
TO MEASURE IMMEASURABLE	173-174
<b>GENERAL ISSUES OF FORMALIZATION IN THE DESIGNING: ONTOLOGICAL ASPECTS</b>	
<b>R.O. Samsonov, A.Yu. Nesterov</b>	175-190
INNOVATIVE CONCEPT OF “SPACE” IN THE TRANSFORMATION MODEL OF THE UNIVERSITY	
<b>S.V. Mikoni</b>	191-202
GENERALIZED ONTOLOGICAL MODEL OF CONTROL IN THE CONCEPT OF A SOCIO-CYBERPHYSICAL SYSTEM	
<b>APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING</b>	
<b>A.Z. Asanov, I.Yu. Myshkina, L.Yu. Grudtsyna</b>	203-213
FORECASTING COMPETENCE REQUIREMENTS FOR TRAINING PROGRAMS ADJUSTMENT WITH THE HELP OF COGNITIVE MODELS	
<b>S.S. Sosinskaya, R.S. Dorofeev, A.S. Dorofeev</b>	214-224
DEVELOPING A SYSTEM FOR ESTIMATION RATING OF TEACHERS BASED ON THE QUALIMETRIC APPROACH AND ONTOLOGY	
<b>A.G. Massel, D.A. Gaskova</b>	225-238
ONTOLOGICAL ENGINEERING FOR THE DEVELOPMENT OF THE INTELLIGENT SYSTEM FOR THREATS ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT OF CYBERSECURITY IN ENERGY FACILITIES	
<b>D.V. Troshin</b>	239-252
TECHNIQUE OF THE ANALYSIS OF RISKS AND THREATS OF ECONOMIC SECURITY OF THE SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEM ON THE BASIS OF FACTORIAL MODEL	
<b>METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING</b>	
<b>A. Gholamy, O. Kosheleva, V. Kreinovich</b>	253-260
HOW TO EXPLAIN THE EFFICIENCY OF TRIANGULAR AND TRAPEZOID MEMBERSHIP FUNCTIONS IN APPLICATIONS TO DESIGN	
<b>A.A. Zhilyaev</b>	261-281
ONTOLOGY AS A TOOL FOR CREATING OPEN MULTI-AGENT RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS	
<b>S.A. Piyavsky</b>	282-298
FORMS FOR CALCULATION OF UNIVERSAL COEFFICIENTS WHEN ADOPTING MULTIPLE CRITICAL DECISIONS	
<b>ONTOLOGY SUMMIT 2019 COMMUNIQUE: EXPLANATIONS</b>	299-300



## ИЗМЕРЯТЬ НЕИЗМЕРИМОЕ TO MEASURE IMMEASURABLE

ОТ РЕДАКЦИИ

*Измеряй измеримое и делай неизмеримое измеримым*  
Галилео Галилей

*Мы заигрались, считая, что всё можно «взвесить»*  
Т.В. Черниговская

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

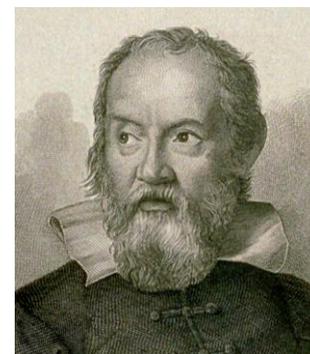
О растущем влиянии цифровизации всего и вся на жизнь и деятельность, в том числе на науку и её производительную силу, не раз говорилось и писалось, в том числе и на страницах нашего журнала.

Конференция SCIENCE ONLINE позиционирует себя флагманским мероприятием в профессиональной жизни специалистов в области научной информации, т.к. объединяет тех, кто создаёт и транслирует, анализирует и оценивает информацию в науке, высшем образовании и наукоёмком бизнесе. На SCIENCE ONLINE обсуждаются самые актуальные проблемы, формируется повестка дня, ставятся основополагающие вопросы, определяются перспективы и векторы развития отрасли. Не исключением стала и прошедшая XXII конференция, на которой шла дискуссия об измеримости научного труда<sup>1</sup>.

По мнению апологетов так называемого «нового менеджизма» (точнее, обновлённой уже «в цифре» бюрократии) наука и образование превращаются в социальные сервисы, а учёные и преподаватели становятся исполнителями услуг, *качество* которых оценивается преимущественно через *количественные показатели*. На место академической свободы и коллегиальности пришли: бизнес-ориентированная цель - достижение конкретного результата, тотальная подотчётность, управление и оценка работы по показателям, взятым из библиометрии, которые там используются лишь как атрибуты трендов, а не как критерии.

Очередную попытку обозначить проблему бюрократизации наукометрии сделал в своём докладе «Онтология проектирования научного журнала» на прошедшей конференции проф. Самарского университета Боргест Н.М., призвав собравшихся специалистов обсудить *атрибутивные вопросы трудноизмеряемых сущностей в науке*. О получении эффекта симуляции научной деятельности вместо её стимулирования, когда простые, легко измеряемые атрибуты сущностей используют в качестве их оценки, говорил в своём вступительном слове генеральный директор Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU Ерёменко Г.О.<sup>2</sup>

Наукометрия<sup>3</sup>, как область знания, занимающаяся изучением науки статистическими исследованиями структуры и динамики научной деятельности, и её младшая дочь библиометрия<sup>4</sup>, занимающаяся количественным анализом документальных потоков на основе библиографических данных публикаций, в руках бюрократии превратились в стимул деградации и



Галилео Галилей  
(1564 – 1642)

<sup>1</sup> Презентации докладов и круглых столов международной конференции Science Online XXII 26 мая - 2 июня 2019 г., Испания, остров Майорка. - <https://elibrary.ru/projects/conference/majorca2019/program.asp>.

<sup>2</sup> Программа конференции Science Online XXII. - <https://elibrary.ru/projects/conference/majorca2019/program.pdf>.

<sup>3</sup> Философская энциклопедия. НАУКОМЕТРИЯ. - [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_philosophy/8727](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/8727).

<sup>4</sup> Энциклопедия эпистемологии и философии науки. - [https://epistemology\\_of\\_science.academic.ru/77/библиометрия](https://epistemology_of_science.academic.ru/77/библиометрия)

массовой симуляции псевдонаучной деятельности. Ведь хорошо известно, что библиометрия осуществляет количественные исследования, направленные на выявление тенденций, главным образом долгосрочных, что связано со стратегическим отслеживанием развития науки, при этом используются лишь *легко доступные* массивы *вторичной информации*.

Профессор Т.В. Черниговская на дискуссии, посвящённой 25-летию газеты The Art Newspaper, где обсуждался вопрос об искусстве, выразила мысль, что «...мы заигрались, в искусственный интеллект заигрались. Мы верим тому, что можно взвесить, что можно потрогать, что можно сосчитать». Конечно, уважаемый профессор здесь не спорит с Галилео Галилеем, который считал, что «тот, кто хочет решать вопросы естественных наук без помощи математики, ставит неразрешимую задачу. Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является<sup>5</sup>». При этом Галилео Галилей – философ, астроном, физик, изобретатель и конструктор утверждал: «Поиск сущности я считаю занятием суетным и невозможным, а затраченные усилия — в равной мере тщетными... [Но] если тщетно искать субстанцию солнечных пятен, это ещё не значит, что нами не могут быть исследованы некоторые их характеристики, например место, движение, форма, величина, непрозрачность, способность к изменениям, их образование и исчезновение<sup>6</sup>».

Эйнштейн, назвав Галилея «отцом современной науки», писал, что «ему удалось преодолеть антропоцентрическое и мифическое мышление своих современников и вновь вернуть объективное и причинное восприятие космоса<sup>7</sup>, утраченное с упадком греческой культуры<sup>8</sup>».

Выдающийся физик Стивен Хокинг, отмечая заслуги Галилея, писал: «...у человека есть надежда понять, как устроен мир, и что *этого можно добиться*, наблюдая наш *реальный мир*<sup>9</sup>». Именно реальный мир, а не его легко определяемую «тень», по которой судят о сущностях в этом мире! Складывается впечатление, что увлечённые псевдонаукометристы и их младшие братья библиометристы, предлагая бюрократам свои инструменты и свои бизнес-модели, забыли платоновский «Миф о пещере» — знаменитую аллегория о тени вещей, использованную им в книге «Государство». В этой притче Платон обращает внимание на то, что познание и понимание сущности вещей не даётся само собой, а требует труда и усилий (которых явно не достаёт нашим бюрократам). По Платону идеальным городом могут править только те, кто проник в сущность самих идей, сумел понять и атрибутировать их, сформулировать критерий и лишь потом получает возможность *измерять и судить о них*.

В этом номере журнала авторы статей пытаются определиться с концепциями и понятиями: космос, университет (*Самсонов, Нестеров*) и управление (*Микони*); компетенции выпускников (*Асанов и др.*) и рейтинг преподавателей (*Сосинская и др.*); экономическая (*Трошин*) и кибербезопасность (*Массель, Гаськова*) в системах разного уровня, а также предложить методы (*Крейнович и др.*), инструменты (*Жуляев*) и формулы (*Пиявский*) для принятия решений в нечёткой среде при многих критериях.

*Уважаемый читатель, приятного Вам прочтения!*

Стать *автором* нашего журнала - очень просто тем, у кого есть *новые результаты* в области формализации знаний на основе онтологического моделирования предметных областей и процессов в них!

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

<sup>5</sup> Кузнецов В.И., Идлис Т.М., Гутина В.И. Естествознание. — М.: Агар, 1996. — С. 14.

<sup>6</sup> Антисери Д., Реале Дж. Западная философия от истоков до наших дней. — СПб: Пневма, 2002. — Т. II. От Возрождения до Канта. — С. 150.

<sup>7</sup> О возврате к исходной глубине понятия «космос» см. также статью в этом номере журнала: *Самсонов Р.О., Нестеров А.Ю.* «Инновационное понятие «космос» в трансформационной модели университета».

<sup>8</sup> Эйнштейн А. Предисловие к книге Галилея «Диалог о двух главных системах мира». — Собрание научных трудов в четырёх томах. — М.: Наука, 1967. — Т. IV. — С. 337.

<sup>9</sup> Хокинг С. Краткая история времени: от Большого взрыва до чёрных дыр. — СПб.: Амфора, 2001. — 268 с.

УДК 111+338

## ИННОВАЦИОННОЕ ПОНЯТИЕ «КОСМОС» В ТРАНСФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСИТЕТА<sup>1</sup>

Р.О. Самсонов<sup>а</sup>, А.Ю. Нестеров<sup>б</sup>

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия  
<sup>а</sup> samsonov.ro@ssau.ru, <sup>б</sup> aynesterow@yandex.ru

### Аннотация

В статье формулируются методологические основания модели университета четвёртого поколения. Университет понимается как социальный институт, выполняющий функцию развития человека. Проблема, на решение которой ориентированы приведённые в статье размышления, - отсутствие в актуальном дискуссионном поле проработанной модели университета философского уровня, отвечающей целевым показателям национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика». Методология исследования – схемы развития в теории познания, теории деятельности и философии техники. Результат заключается в демонстрации онтологической схемы для построения трансформационной модели университета, допускающей верификацию текущего положения дел в процессах реформирования высшего образования России, гарантирующей когерентность стандартов развития университета как социального института. В первых трёх разделах формулируются базовые онтологические предпосылки взаимодействия человека и космоса, раскрывается содержание понятий космоса, научного познания и технического творчества, демонстрируются ступени развития искусственной природы. Приводится онтологическая схема, фиксирующая знание и действие человека в актуальном и потенциальном космосе. В четвёртом разделе защищается тезис о том, что университет – это форма социальной организации, выполняющая функцию управления взаимодействием космоса и человека и развивающаяся соразмерно уровню науки и техники. В пятом и шестом разделах обсуждаются так называемые «поколения» университетов, трансформация университета описывается как последовательная эмансипация и институционализация функций самоуправления социального субъекта: второе поколение университетов формирует в себе структуры управления исследованиями, третье поколение – структуры внедрения результатов исследований в реальную экономику. В седьмом разделе формулируется тезис о том, что университет четвёртого поколения, синтезирующий формы исследовательского и предпринимательского университета, чтобы соответствовать актуальному состоянию искусственной среды обитания человечества, должен создать в себе структуры управления целеполаганием и научиться работать с новым уровнем неопределённости.

**Ключевые слова:** космос, университет Гумбольдта, предпринимательский университет, университет четвёртого поколения, университет 4.0, трансформация университета.

**Цитирование:** Самсонов, Р.О. Инновационное понятие «космос» в трансформационной модели университета / Р.О. Самсонов, А.Ю. Нестеров // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.175-190. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190.

### Введение

Система высшего образования сегодня в России находится в точке бифуркации. Невозможно предсказать, какую форму в целом она примет, какова будет структура отдельных университетов, как будут определены их целевые функции и границы возможностей. Однако можно и нужно прояснить содержание базовых понятий, управляющих процессами рефор-

<sup>1</sup> Редакция журнала рассчитывает на развитие дискуссии о трансформационной модели будущего университета. *Прим. ред.*

мирования высшей школы, строить модели и верифицировать их на доступном опыте, чтобы понимать направление, содержание, цели и ожидаемые результаты трансформаций.

В предлагаемом рассуждении предпринята попытка показать на уровне философского обобщения, каково содержание понятия университета, на каком онтологическом основании университет развивается и что конкретно означает понятие развития применительно к процессу трансформации университета первого поколения в университет второго, третьего и четвёртого поколения. Базовым понятием, на фоне которого строится рассуждение, является понятие космоса. С одной стороны, это фундаментальное философское понятие (в процессе определения «космоса» невозможно перестать быть частью космоса), - и на его фоне будут показаны те базовые положения дел, без учёта которых невозможно рассуждать или действовать в социальном пространстве. С другой стороны, понятие космоса является определяющим для группы инженерных вузов, исторически предназначенных для удовлетворения нужд авиационной и космической промышленности, а в настоящее время – подобно Самарскому университету – переживающих превращение в классические университеты.

Вопреки обыденному значению слова «космос», подразумевающему некое пространство за пределами земной атмосферы, словарями оно задаётся как «синоним астрономического определения Вселенной» [1], как «бесконечное пространство, включающее все небесные тела» [2]. Исходные определения [3], зафиксированные для архаико-мифологического мировоззрения, вводят его в качестве «мироздания, понимаемого как целостная, упорядоченная, организованная в соответствии с определённым законом (принципом) вселенная» [4], в качестве «мирового порядка, мирового целого, которое в отличие от хаоса не только упорядочено, но и прекрасно в силу царящей в нём гармонии» [5]. Актуальные словари по философии и методологии науки говорят о космосе как о «целесообразно устроенном порядке... порядке вселенной...» [6].

Семантическое поле слова «космос» включает представления о «порядке», «вселенной», «мире», «системе», «источнике», «правиле», «универсуме», «принципе», «начале», «природе». Вполне очевидно, что в содержании этого понятия схвачено исторически изменчивое, однако предельно конкретное представление о реальности, как она есть сама по себе, о сущем, частью которого человек является. Инновационность понятия «космос» в нашем случае заключается в том, чтобы вернуть ему исходную глубину. Если «космос» лежит в фундаменте стратегии развития социального субъекта, то новизна, внедряемая этой стратегией, должна быть соразмерна онтологическим и эпистемологическим основаниям, которые в свёрнутом виде заключены в этом понятии. Развёртывание понятия «космос» подразумевает как минимум три коллизии общеприкладного характера, связанные 1) с взаимодействием космоса и человека, 2) с вопросом о научном познании и техническом творчестве, 3) с трансформацией природы в процессе технологического развития, – вне учёта которых рефлексия над любой формой социальной организации не имеет смысла.

## **1 Космос и человек**

Космос и человек – полярные понятия в теории познания. Крайние позиции в определении их взаимодействия носят характер реализма и конструктивизма. Согласно первому, человек есть фрагмент пребывающего в себе космоса, способный истинным образом его познавать и встраиваться в него путём создания искусственных объектов. Согласно второму, человек творит космос из самого себя, порождая его в виде содержаний собственных состояний сознания, практических действий и техники. Нейтральная позиция, представленная, например, критической философией, трансцендентализмом, семиотикой техники, заключается в том, что «космос» и «человек» создают ситуацию познания, в которой первое невозмож-

но без второго: без человека как субъекта познания и деятельности не существует никакого космоса как объективной реальности, и наоборот, какую бы то ни было реальность невозможно познать или изменить, не признавая за ней статус самостоятельно существующей среды, тем или иным образом включающей в себя субъект деятельности.

Космос как реальность предстаёт перед человеком в виде абстракции порядка мироздания, в виде актуальной и потенциальной системы правил. Эпохи поздней схоластики и Нового времени приложили значительные усилия для того, чтобы прояснить общее представление о порядке мироздания, понятием через наборы правил. В актах познания и технической деятельности человек сталкивается с системными ограничениями и регулярными последовательностями среды, субъективно выраженными, например, в нарушении ожиданий, из которых делается вывод о законосообразном характере мироздания, фиксируемом в виде разнородных правил. Некоторая часть правил известна человеку в тот или иной период времени в силу инстинкта или обучения, некоторая – нет. Это свидетельствует о том, что космос в виде порядка, в виде систем правил раскрывается как актуальный, или известный человеку, и как потенциальный, ещё не известный человеку. Допущение идеи «потенциального космоса» позволило обосновать идеи «бесконечной природы» и возможности прогресса как количественного роста объективного знания о природе в процессе приближения к реальности.

Человек как субъект деятельности раскрывается в актах познания и деятельности. Познавая, каждый из нас занимает преимущественно субъективирующую, рецептивную позицию, ориентированную на снятие неопределённости в виде знания о незнании или непонимания. Действуя, мы исполняем желания и удовлетворяем потребности, занимая преимущественно объективирующую, проективную позицию, ориентированную на создание нового: новых объектов, новых представлений, новых гипотез и теорий. Различие между познанием и действием очевидно: первое ориентировано на знание как на истинностную фиксацию имеющихся правил, второе – на их адекватное среде применение. Модели познания носят характер описания, модели деятельности – характер предписания.

Сказанное позволяет построить простейшее соответствие (см. таблицу 1), демонстрирующее базовые формы взаимодействия человека и космоса: знание в актуальном и потенциальном космосе, действие в актуальном и потенциальном космосе.

Таблица 1 – Базовые формы взаимодействия человека и космоса

Человек \ Космос	Актуальный космос	Потенциальный космос
<b>Знание</b>	Реальная наука, результат – выявленные законы природы	Метафизика, результат – гипотетические законы, художественное творчество, фиксация границ мыслимого
<b>Действие</b>	Техника, результат – новые объекты на основе законов природы	Целеполагание, прогноз, фиксация границ возможного

Положение дел, выражаемое в приведённой таблице, иллюстрирует сформулированное в середине XX в. польским философом Романом Ингарденом соотношение онтологии, метафизики и реальной науки [7]. Та или иная исторически или логически обусловленная аксиоматизация процедур познания создаёт онтологию как набор базовых предпосылок (постулаты, протокольные предложения, алфавит с правилами вывода и т.п.); предложения, теории и модели, корректно выведенные из аксиоматики, относятся либо к реальной науке, если они верифицируются опытом, либо к метафизике, если такая верификация пока, в силу исторических обстоятельств, невозможна. В том или ином виде человек или любой другой познающий и действующий субъект, способный к обработке входящей информации (включая в число таких субъектов и социальные институты), всегда в любой момент времени имеет дело со всеми четырьмя позициями, независимо от того, осознаёт он это или нет.

## **2 Научное познание и техническое творчество**

Познание как таковое есть процесс субъективирования реальности, «превращение существующего в объект» [8, с.107] или преобразование чуждых кодов в естественные [9, с.191]. Традиционно, начиная с Платона, о познании говорят как о взаимодействии инстанций или слоёв сознания, понимая под ними чувственное восприятие, рассудок (рацио) и разум (интеллект). Нечто сначала известно в виде объекта, данного посредством органов чувств, затем в виде предмета, заданного способом логико-категориального или языкового схватывания, и, наконец, в качестве разумного правила, соединяющего предмет и объект.

Научное познание – новый в историческом смысле способ извлечения и организации знания, связанный со специфическим характером обоснования истинности убеждений в измерительном эксперименте. Важно, что о научном познании в строгом смысле можно говорить там и только там, где дедуктивные модели, подтверждённые логическим анализом, интерпретируются на прямо или косвенно данных объектах чувственного восприятия. Общая ситуация познания, характеризующая того или иного субъекта в его отношении к реальности, анализируется, как правило, в противопоставлении незнания о незнании (допроблемная ситуация), знания о незнании (проблемная ситуация), незнания о знании и знания о знании [10]. Научное познание начинается с проблемной ситуации и, как правило, стремится к максимально полному знанию о знании.

Действие, техническое творчество или техника в общем смысле – это «всякое целесообразное воздействие наружу» [11, с.90]. Исторически возникновение собственно научного познания как способа открытия причин предметов в диалоге с природой является следствием развития техники, позволившего фиксировать точные ответы природы на корректно заданные человеком путём измерительного эксперимента вопросы.

Важно, что всякая техника есть обращение процедур познания, переход от описания природы к применению его результатов. Техническое действие направлено на создание нового, искусственных объектов и оно осуществляется посредством тех же самых инстанций или слоёв сознания, которые участвуют в познании: меняется лишь вектор и порядок их осуществления. В этике и теории деятельности модели, полученные познанием, называют описательными (дескриптивными) – это законы природы; модели же действия называют порождающими (прескриптивными) – это нормы, ценности и цели. Деятельность, творчество и техника берут начало в сфере разума в виде фантазии, вымысла, инобытия и целеполагания, продолжают в рассудке в виде оформленных логико-категориальной или языковой формой конструкций, схем и представлений и завершаются в создании артефакта, доступного чувственному восприятию. Такова классическая схема творческого технического акта.

Преобразование описывающей теоретико-познавательной модели в нормативную модель деятельности П.К. Энгельмейер назвал интуицией [12]. Это серьёзный момент, позволяющий устранить множество недоразумений. Крайне важно понимать и фиксировать, на каком уровне познания тот или иной субъект переходит от интериоризации к действию. Если субъектом не отрефлексированы схемы рассудка и разума, если они для него являются неосознаваемыми и работают в сфере бессознательного, тогда его чувственная интуиция носит характер незнания о знании: художники и поэты в состоянии создавать новые объекты, не осознавая и не понимая работы категориальных и интеллектуальных моделей сознания, участвующих в этом созидании. В определённом смысле всякий человек находится в ситуации незнания о знании до тех пор, пока человечество не сможет технически воссоздать человеческий организм, эквивалентный природному.

Технология в виде суммы моделей, применение которых позволяет получать исполняющие человеческие потребности артефакты с заданными свойствами, опирается на научное познание. Важно, что интуиция инженера как субъекта технической деятельности представ-

ляет собой «пересборку» опыта учёного, работающего с корректно определёнными понятиями и верифицированными на опыте моделями. Для инженера недопустимо оставаться в сфере чувственной или только рассудочной интуиции при наличии проработанного и исторически устойчивого научного понятийного аппарата.

Взаимодействие в системе человек-космос в ситуации познания определено космосом, а в ситуации технического действия – человеком. При переходе от познания к действию центр и периферия субъективного внимания меняются местами, однако понятийно выраженные модели знания остаются теми же самыми. Именно это позволяет, например, наукам о жизни превращаться в биотехнологии, наукам о человеке – в когнитивные технологии, наукам о социуме – в социальные технологии и т.д.

### 3 Трансформация природы

И научное познание, и техническое действие с каждой эпохой усложняют свои структуры. Рост сложности создаваемых моделей, рост количества учитываемых правил и сред их применения свидетельствует о реальном прогрессе, формы которого задают и определяют едва ли не все стороны социального взаимодействия. Прогресс научного познания влечёт трансформацию в способах обоснования истинности дескриптивных моделей, он зафиксирован В.С. Стёпиным [13] как переход от классической научной рациональности к неклассической и постнеклассической. Теория управления, разделяющая иерархические, системные и средовые формы управления в соответствии с типами научной рациональности, исследована В.Е. Лепским [14]. Прогресс технической деятельности влечёт трансформацию природы как среды обитания человека и подразумевает переход от естественной природы к искусственной природе первого порядка, затем к искусственной природе второго порядка, и в настоящее время технологически развитые общества переживают переход к искусственной природе третьего порядка<sup>2</sup>.

Первоначально взаимодействие человека и космоса разворачивается в условиях естественной природы. Познание в этот архаико-мифологический период ориентировано на методы наблюдения и выражено в метафорических формах, действие носит безличный и интуитивный характер. Математика, например, предстаёт как мистическая практика, а инженерное действие – как чистая чувственная интуиция. Удачная и ёмкая характеристика архаического мышления дана в работе [15]: лодку строю не я, лодка строится сама моими усилиями. Это донаучный ремесленный период, где формы рефлексии над познанием и деятельностью представлены, как правило, в мифе. Человек является здесь частью природы в том смысле, что само взаимодействие «человек-космос» не отрефлексировано ни в рецептивно-познавательном, ни в технико-управленческом плане: субъекты, объекты и те или иные управляющие воздействия не осознаются как таковые.

Артефакты, созданные человеком в донаучном ремесленном периоде развития, постепенно создают первую искусственную среду обитания человека. Сам механизм возникновения новой среды может быть описан как синтез тезиса и антитезиса в смысле Г.В.Ф. Гегеля [16]: положения дел в естественной природе выступают тезисом, вновь созданные технические артефакты – антитезисом, снятие оппозиции приводит к новому качеству среды, искусственной природе. С известной долей условности период становления первой искусственной природы («век прогресса», «век машин») охватывает период с середины XVIII в. от появления первых машин и вплоть до становления кибернетики в 50-е годы XX в. В этот период

<sup>2</sup> Здесь стоит также отметить работы ушедшего от нас члена редколлегии журнала, проф. В.А. Виттиха (1940-2017), как инженера, остро почувствовавшего «трансформацию в способах обоснования истинности дескриптивных моделей» и искавшего пути применения этих способов, как обновления подхода к управлению социотехническими системами. *Прим. ред.*

возникает и оформляется классическая научная рациональность, требующая разделять субъект и объект познания, и иерархическая теория управления, техника манифестируется архимедовыми машинами, преобразующими энергию.

Вторая искусственная природа – это «век кибернетики», механизм её возникновения описывается той же самой диалектикой. Специфика второй искусственной природы в том, что артефакты – искусственные объекты, созданные человеком для удовлетворения той или иной потребности, – проникают из сферы чувственного восприятия в сферу рассудка. Область искусственного расширяется с области материально данных объектов, фиксируемых органами чувств, на область рассудочных структур, формирующих конструкции, схемы и представления познания и нормы технического действия. Г. Гюнтер [17] назвал машины второй природы «неархимедовыми машинами», преобразующими не энергию, но информацию. Специфика второй искусственной природы в настоящее время не до конца осмыслена антропологами и социологами: если относительно первой искусственной природы были предприняты грандиозные усилия для описания положения человека в новой для него искусственной среде (от «отчуждения» К. Маркса [18] до «одномерности» Г. Маркузе [19]), то относительно второй искусственной природы это положение пока системно не прояснено. С точки зрения науки вторая искусственная природа коррелирует с неклассическим идеалом рациональности, требующим учитывать относительность объекта на фоне методов, применяемых в познании субъектом, равно как и с сетевой теорией управления, демонстрирующей, что эффективное достижение целей в проективном субъект-объектном взаимодействии требует не только вертикально-иерархического упорядочивания, но и горизонтальных нелинейных связей со свободными регламентами коммуникации.

Третья искусственная природа – это создание новой цифровой среды обитания, на пороге которой сейчас стоит человечество. Её коррелятом в научном познании является постнеклассический идеал рациональности, требующий от учёного и инженера учитывать социальные проекции собственных действий, средовая теория управления, подразумевающая, что при наличии иерархий и систем в субъект-объектном взаимодействии целевой результат достигается путём управления параметрами среды. В инженерно-технической деятельности это среда, в которой область артефактов включает в себя не только искусственные объекты чувственного восприятия и предметы рассудка, но и традиционные области разума: искусственная рефлексия, воображение, целеполагание, определение и сдвиг границ мыслимого и возможного. Социальные аспекты связаны с тем, что машина из противника человека, каким она была в «век прогресса», и из элемента структуры познавательной и технической деятельности, каким она является сейчас, в «век кибернетики», становится в условиях третьей искусственной природы самостоятельным субъектом социальной среды, участвует наряду с человеком – конкурируя, содействуя или не замечая его – во взаимодействии с космосом.

В целом важно подчеркнуть, что трансформация природы во взаимодействии человека и космоса подразумевает самопознание и самосозидание человека за счёт превращения потенциального космоса в актуальный в познании и технике. Прогресс связан с расширением области искусственного со сферы чувственного восприятия на сферу рассудка, а затем интеллекта и разума и с фундаментальным изменением среды обитания человека в биологическом смысле этого термина: жизнь нашего современника в условиях мегаполиса отличается от жизни дикаря в первобытном лесу, в той же мере цифровая жизнь в информационных системах отличается от биологической жизни, и в существенно большей мере жизнь субъектов третьей искусственной природы будет отличаться от того, что сейчас называется «жизнью» [20]. Это открытые полемические темы.

#### 4 Университет как форма управления взаимодействием человека и космоса

Сформулированные коллизии позволяют обозначить минимально приемлемый контекст обсуждения проблемы развития университета. Сам по себе университет – это форма социальной организации, выполняющая функцию управления взаимодействием реальности и человека (см. подробнее [21, 22]). Университет, с одной стороны - это инструмент интеграции человека в космос, в реальность, как она известна в том или ином периоде времени в виде одного или нескольких наборов действительностей. С другой стороны, университет – это инструмент создания космоса в виде построения среды обитания, в виде способа задания границы мыслимого, возможного и действительного. Управление взаимодействием космоса и человека – это генерация памяти в виде знаний и норм и построение моделей развития человека как субъекта познания и действия.

Университет как субъект управления фиксирует и транслирует границу актуального и потенциального космоса. В области познания - это соотношение между онтологиями, реальной наукой и метафизикой как сферой мыслимого. В области техники - это соотношение между онтологиями, реализуемыми технологиями и целеполаганием как сферой возможного.

Объектом управляющего воздействия являются люди: студенты и преподаватели, которые обучаются и обучают, усваивая и транслируя научные знания и технические нормы. Точнее было бы сказать, что университет соотносит состояние границы актуального и потенциального космоса у своих слушателей с их образцовым состоянием, как оно доступно его преподавателям. Иного содержания, выходящего за пределы такого соотношения, у университетских процедур образовательной деятельности нет: они являются собственно обучающими, когда транслируют ту или иную объяснительную модель, и воспитательными, когда передают явную или неявную систему норм и ценностей, сопровождающую извлечение и применение этой объяснительной модели.

Университет переводит человека из естественного состояния в состояние той природы, к которой он сам относится. Историческое развитие университета как социального субъекта обусловлено состоянием среды, относительно которой выполняются функции генерации памяти и создания эволюционных моделей. В условиях естественной природы, в донаучный период формирования эти функции растворены в традициях и обычаях и институционализируются в форме школ. В условиях первой искусственной природы возникают университеты первого и второго поколений, в условиях второй искусственной природы формируются модели университетов третьего поколения, для условий третьей искусственной природы возникает задача создания, обсуждения и реализации университета четвертого поколения.

#### 5 Университет как среда выхода из зоны комфорта

Онтологические предпосылки, заданные в коллизиях взаимодействия человека и космоса, познания и деятельности, трансформации природы, позволяют увидеть функции университета того или иного поколения в свете того, как конкретно формируется соотношение актуальной и потенциальной реальности для знания и действия в условиях первой, второй и третьей искусственной природы. Решение этой задачи подразумевает создание теории университета, верифицируемой на историческом материале и способной программировать новые состояния и новые уровни сложности в условиях актуальной среды.

*Трансформация университета* – это соразмерный типу искусственной природы сдвиг границ знания и действия от потенциального к актуальному космосу, выражающийся в изменении способа организации университета как социального субъекта. Теория университета подразумевает и задаёт трансформационную модель, обеспечивающую его функционирование в усложняющемся социальном пространстве.

Общие контуры теории университета определяются различением идеалов и типов научной рациональности, различением моделей реально применяемой теории управления, различением типов искусственной природы, задающих человеку способы генерации памяти и создания эволюционных моделей. В общем случае к университету применимы все формы исторического, социального, философского, культурологического и т.п. анализа, разработанные для выявления качественных и количественных границ в структуре общества. Однако важно понимать, что университет отличается от прочих форм социальной организации привилегированной оппозицией научного и обыденного знания. В свете приведённой онтологической схемы знания и действия университет стремится к максимально полному выражению знания о потенциальном космосе, действия в актуальном космосе, действия в потенциальном космосе в рациональных понятийных системах, то есть посредством знания об актуальном космосе. Университет обслуживает запрос социума, направленный на рост объективного истинностного теоретического и практического знания о реальном, как оно есть само по себе и как оно доступно человеку.

Исторически, например, в индуизме, такого рода запрос обслуживается мистицизмом. Приближение к реальному здесь описывается как просветление, инициируемое афоризмом и разумной беседой в компании мудрых. Таковы школы Древней Греции, Сад Эпикура, платоновская Академия или аристотелевский Ликей. Платон создаёт бессмертную метафору пещеры, в контексте которой задача человека – выйти из сумрака пещеры в мир идей, освещённый благом, путь в который раскрывается по мере роста математического знания и навыков его применения. Формализация мышления Аристотелем, онтологические и герменевтические усилия отцов церкви создают условия для формирования прообразов университета в виде, например, Александрийского огласительного училища, в котором впервые была поставлена задача по целенаправленному формированию образа человека с заданными желательными мировоззренческими характеристиками на основании продуманной педагогической программы.

Секуляризация мистических практик в виде форм рациональной аргументации и обоснования знания, институционализация традиционных форм сохранения и передачи знания за счёт изобретения и распространения книгопечатания делают возможным университет первого поколения как форму осознанного искусственного сохранения и трансляции накопленного знания о природе, социальном взаимодействии, религиозной метафизике, равно как и о самих способах организации знания. Со средневековым университетом в Болонье, Праге, Лейпциге и Париже возникает новый социальный субъект, задача которого – сохранять и транслировать необыденное знание о мире.

«Спор факультетов» И. Канта [23], например, посвящён темам организации и трансляции знания между философским, медицинским, правовым и теологическим факультетами университета первого поколения. В онтологической схеме взаимодействия человека и космоса он располагается в сфере знания актуального космоса и не подразумевает отрефлексированных форм взаимосвязи с другими областями. Управленческая модель носит сугубо иерархический характер, среда деятельности – переходное пространство от естественной к искусственной природе. Важно, что объекты управляющего воздействия университета, студенты и преподаватели, трансцендированы за счёт участия в жизни университета из привычной, обыденной действительности, выделены из общей людской массы по признаку более высокого уровня доступа к объективному знанию о мире. Это положение дел хорошо иллюстрируется появляющимся уже в момент формирования проектов университета второго поколения девиза *sapere aude*, «осмелюсь знать».

## **6 Университет второго и третьего поколения**

Образцом университета второго поколения считается Берлинский университет, основанный Вильгельмом фон Гумбольдтом в 1810 году. Принципы, на которых он был заложен, – это единство обучения и исследования, свобода науки и всестороннее образование студентов. Эти принципы подразумевали изменяемое содержание образования, зависимость преподаваемого материала от результата научного исследования и позволили создать динамичную, гибкую форму социальной организации, успешно функционирующую и в наши дни.

В онтологической схеме взаимодействия человека и космоса университет второго поколения соединяет в себе знание актуального космоса и знание потенциального космоса. Культивируемая теория познания ориентирована на перманентный сдвиг границ мыслимого: именно свобода научного поиска в сочетании со всесторонним образованием позволяла немецкой науке вплоть до конца 30-х годов XX в. быть мировым образцом. Применяемая модель управления носит сетевой характер: на фоне иерархических вертикалей административно-политического управления формируются горизонтальные связи управления наукой, обеспечивающие возможность самоорганизации исследовательских коллективов в рамках заданных алгоритмов. Университет второго поколения – это одна из первых в историческом плане социальных систем с обратной связью: научные результаты, полученные в процессе исследований, меняют содержание обучения, которое позволяет вывести следующее поколение исследователей к новой границе актуальной и потенциальной реальности и т.д. Среда деятельности – искусственная природа первого порядка.

Перед университетом второго поколения не стояло задачи создавать новые объекты. Это классический университет, действующий в рамках задачи приращения актуального знания о мире. На его фоне в XIX веке в Европе возникает система высших инженерных школ, где актуальное знание транслируется не в виде научных теорий, но в виде инженерных навыков. Одним из результатов их деятельности является появление в XX в. философии техники, например, в России создаваемой преподавателем высшего технического училища (сейчас МГТУ им. Н. Баумана), П.К. Энгельмейером. Классические и инженерные университеты по-разному взаимодействуют друг с другом в течение XX в. в социалистическом и капиталистическом обществе. Это отдельная серьёзная тема историко-методологического исследования, связанная с анализом роли классического университета и инженерной высшей школы в треугольнике М.А. Лаврентьева «наука – кадры – производство» [24] и выявлением причин, по которым в условиях капиталистического способа организации хозяйственной деятельности этот треугольник теряет работоспособность.

Университеты второго поколения способствуют становлению второй искусственной природы, порождающей новые типы проблем. Вопросы о регулировании технико-экономического баланса, понимаемого в качестве системы отбора, промышленного внедрения и доведения новых идей до их конечных потребителей, вопросы о регулировании технико-гуманитарного баланса, понимаемого в качестве системы корреляций между технической мощью человека и уровнем его духовного развития, выходят за пределы теоретической модели университета второго поколения, однако они были поставлены и осмыслены в качестве фундаментальных проблем во многом за счёт результатов «технизированной науки» XX в., породившей новую среду обитания человечества.

Университет третьего поколения или предпринимательский университет – это модель, связанная с именем Й. Виссема [25] и подразумевающая новый способ существования классической гумбольдтианской версии университета в условиях второй искусственной природы, обусловленных в том числе посткапиталистическим способом организации хозяйственной деятельности, идеологией постмодернизма и глобализма. Её главное отличие – в требовании

извлечения прибыли из результатов познания, возникающих при расширении границ актуального знания о космосе, целевой функцией университета объявляется создание прибыли.

В онтологической схеме, на фоне которой мы предлагаем рассматривать модели поколений университетов, концепция Й. Виссемы подразумевает смещение фокуса внимания с оппозиции актуального и потенциального знания на оппозицию актуального знания и актуального действия. То есть основным содержанием процедур образования становится не сдвиг границ познаваемого и расширение сферы мыслимого, но превращение имеющегося реального знания о мире в технологии производства новых артефактов. Если увидеть эту ситуацию изнутри треугольника М.А. Лаврентьева, то гумбольдтовский университет интегрирует в себе науку и кадры, а университет Й. Виссемы – кадры и производство.

В этой модели возникает ряд сложностей онтологического характера, обусловленных историей ответов на вопросы: что такое научное знание и чем оно отличается от технического, каковы специфические формы трансляции технического знания, какова модель технико-экономического баланса или хотя бы общая модель хозяйственно-экономической деятельности, актором которой является университет? Университет третьего поколения по сути дела исключает внешнее (государственное или рыночное) управление внутренними процессами, касающимися не только содержания научно-образовательной, но и внедренческой деятельности. Существенной проблемой оказывается определение фигуры заказчика как субъекта, формирующего темы научных исследований и соответствующее им содержание образования. Для университета второго поколения такого рода заказ формулируется и оплачивается государством или крупными корпорациями, здесь же функцию внешнего заказчика берут на себя внутренние структуры университета, фиксирующие состояние технико-экономического баланса среды, в которой действует университет, и берущие на себя ответственность за те или иные решения. Это подразумевает иной уровень осмысления и проработки рисков.

Такое положение дел требует проработанной модели перехода от теории к практике, превращения научных объяснительных и описательных моделей в прескриптивные технические нормы, правила и стандарты. Не в меньшей степени университет третьего поколения нуждается в теории изобретения, отвечающей на вопрос, что такое изобретение, как управлять изобретательским процессом, каковы границы формализуемости процедур, участвующих в изобретательском процессе. В настоящий момент наблюдается серьезный содержательный разрыв между схемами изобретения в философии техники и художественном творчестве [11, 12, 26, 27], с одной стороны, психологическими подходами к изобретению [28] и обобщениями конкретных инженерных практик в разнопорядковых искусственных средах [29-31]. Его необходимо преодолевать. Изобретение – это создание нового, источник творчества и результат интуиции как обращения накопленного человеком опыта. Проработанных, завершённых и готовых к применению моделей изобретения для искусственной среды второй и третьей природы нет. Они ещё только должны быть созданы, должно быть найдено и чётко очерчено содержание понятия изобретения, если университеты осознанно пойдут по пути конвертации знания в технологические артефакты, тем более что накопленный потенциал философии науки и философии техники позволяет это сделать.

Университет третьего поколения подразумевает средовой механизм управления. Иерархическая вертикаль, отвечающая за процедуры обучения и воспитания, взаимодействует не только с системами научных организаций, транслирующими содержание образования, но и с системами внедрения полученных результатов, создающими внутренний заказ на то или иное транслируемое содержание. Это сверхсложная организация, к которой не применимы имеющиеся модели экономического и политического управления, так что определяющими оказываются схемы управления, строящиеся на основе общих норм культуры, ценностного и целевого самоопределения внутренних акторов социального субъекта.

## 7 Университет четвёртого поколения. Проблемы и актуальные задачи

Постнеклассический идеал научной рациональности требует от учёного и инженера видеть и учитывать в практической деятельности социальные проекции новых объяснительных теорий и разрабатываемых технологий. Качество искусственной среды обитания человека в условиях второй природы прямо определяется состоянием научной, инженерной и предпринимательской (внедренческой) деятельности, осуществляемой университетом третьего поколения [32].

Вполне понятно, что редукция активностей университета к конвертации имеющихся научных результатов в коммерчески успешные технологии или отдельные артефакты приведёт к превращению университета в коммерческую организацию, эквивалентную по своим функциям корпорации, промышленному предприятию или управляющей компании в сфере ЖКХ. Попытки избежать такой редукции за счёт отказа от создания рыночных структур в системах внутреннего управления чреваты отсутствием ресурсов и откатом к состоянию школы или условного университета первого поколения, не способного к институциональной рефлексии над формами и содержанием научного прогресса и – тем самым – к управлению содержанием образования. Это чрезвычайно серьёзный вызов, связанный с управлением целеполаганием, управлением рисками и долгосрочным планированием.

Модель университета четвёртого поколения предложена Д.В. Горбуновым в 2017 году на серии семинаров, организованных Министерством экономического развития Самарской области и кафедрой философии Самарского университета. В табличной форме концепцию смены поколений университетов можно выразить через изменения среды, в которой работает университет, базовой функции, роли университетского сообщества в социуме и структуры университета (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Поколения университетов

	Университет 1.0.	Университет 2.0.	Университет 3.0.	Университет 4.0.
<b>Среда</b>	естественная природа	первая искусственная природа	вторая искусственная природа	третья искусственная природа
<b>Функция</b>	сохранение знания	создание нового знания	создание новых артефактов	создание новых онтологий
<b>Роль сообщества</b>	экспертные сообщества	экспертные сообщества	предпринимательские сообщества	политические сообщества
<b>Структура</b>	структура управления учитывает знание об актуальном космосе	структура управления учитывает знание об актуальном и потенциальном космосе (обучение + исследование или кадры и наука)	структура учитывает знание об актуальном космосе и действие в актуальном космосе (обучение + предпринимательство или кадры и производство)	структура учитывает знание об актуальном и потенциальном космосе, действие в актуальном и потенциальном космосе (обучение + исследование + предпринимательство + управление качеством жизни людей в территориальных границах или кадры, наука, производство и управление)

Содержание модели университета четвёртого поколения, выраженное в схеме настоящего рассуждения, связано с требованием учёта в структуре университета взаимодействия актуального знания о реальности и целеполагания, фиксирующего границы возможного [33]. Само понятие «возможности» задаёт поле деятельности на фоне «невозможного», определённого актуальным состоянием знания о мире. Для физики эту ситуацию прояснил М. Каку [34], показав, какую форму актуальные технологии могут принять согласно известным законам природы, а какую – гарантированно не могут. Сферу социального действия удачно характеризует приписываемый Отто фон Бисмарку афоризм: «политика есть искусство воз-

возможного» [35]. Университет, переводя действие в потенциальном космосе в формы актуального знания, не только даёт экспертную оценку, не только организует внедренческую деятельность, но и несёт ответственность за долгосрочное планирование развитием территорий. Такой новый уровень проработки рисков и ответственности влечёт перестройку и усложнение способа организации, создания новых элементов организационной структуры.

Рост сложности университета как субъекта знания и деятельности в целом связан с постепенной рефлексией над формами своего участия в онтологической схеме взаимодействия человека и космоса. Он выражается в институционализации внутренних субъектов, отвечающих за ту или иную форму взаимодействия, то есть в создании новых структур и форм самоуправления. Условное первое поколение университетов, занятое только трансляцией готового знания о мире, обладает неявным, не отрефлексированным и не выраженным во внутренней управленческой структуре знанием о потенциальном космосе в виде процедур фиксации границ мыслимого, механизмами создания и применения технологий, механизмами целеполагания как определения границ возможного. Второе поколение университетов за счёт рефлексии выделяет в своей структуре систему научного поиска, оставляя деятельность в актуальном и потенциальном космосе в области незнания о знании. Третье поколение университетов делает ещё один шаг, создавая институциональные механизмы (стартапы, проектные офисы и пр.) управления изобретениями, артефактами и технологиями. Наконец, четвёртое поколение университетов институционализирует функции целеполагания [36].

Этот процесс самосознания университета можно выразить в терминах эмансипации от внешней среды за счёт усложнения внутренней структуры. Университет второго поколения добивается свободы в содержании научного познания. В. фон Гумбольдт отмечал, что «с уверенностью ожидал бы улучшения государственного строя при помощи нации и не боялся бы вредного влияния гражданских учреждений на человека» [37, с.59]. Университет Й. Виссемы стремится к свободе применения знания, а университет четвёртого поколения по определению должен стремиться к свободе целеполагания. Свобода последнего рода выражается в том, что университет не только обучает и воспитывает, не только осуществляет исследования, находит и контролирует применение их результатов, но и управляет развитием территорий. Задача университета заключается в том, чтобы создавать и поддерживать инструментарий устойчивого развития и обеспечения качества жизни.

Это амбициозная задача, решение которой позволит построить комплексную теорию университета, в полной мере отвечающего за генерацию памяти и содержание эволюционных моделей. Её решение требует существенно более полного определения параметров взаимодействия университета с политическими, экономическими и идеологическими структурами управления обществом, анализа тех интеллектуальных и технологических положений дел в обществе, частью которого университет является, решения фундаментальных задач по построению интеллектуальных моделей, объясняющих и генерирующих превращение теоретического знания в готовые к использованию технологии, по теории изобретения и теории управления изобретениями, по методам анализа технико-экономического и технико-гуманитарного баланса, по моделям и институтам управления целеполаганием. Если университет в первом и втором поколении сохраняет и создаёт знания, удовлетворяя экспертный запрос общества, в третьем – создаёт новые артефакты, становясь актором финансово-хозяйственной деятельности, то в четвёртом поколении он претендует на создание комплексных онтологий, обеспечивающих качество жизни людей в конкретных временных и территориальных условиях, то есть на то, чтобы посредством знания, включающего в себя рациональную рефлексию над всеми позициями взаимодействия человека и космоса, выступать субъектом управления политическими, экономическими и идеологическими структурами в условиях третьей искусственной природы.

## Заключение

Представленное размышление направлено на решение актуальной проблемы, связанной с процессами трансформации высшей школы в России XXI в. и заключающейся в отсутствии дискуссии<sup>3</sup> глобального философского уровня о принципах, моделях и теории управления университетом. Методологический вакуум, отсутствие в интеллектуальном пространстве отечественной образовательной элиты обсуждаемых моделей и теорий развития порождают ряд текущих проблем, встающих в том или ином виде перед каждым высшим учебным заведением и связанных с востребованностью науки, технологий и выпускников, с обратными связями с финансовыми, промышленными и властными структурами, с качеством кадров и инфраструктуры. Обсуждение и последовательная детализация модели университета четвертого поколения, осуществляемые с привлечением результатов, накопленных историей и философией науки, техники и управления, способны внести существенный вклад в пробные инициативные подходы к реорганизации и трансформации университетов, задаваемые целевыми показателями и результатами национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика»<sup>4</sup>.

В статье сформулирован фундаментальный онтологический базис, позволяющий поставить вопрос о содержании понятия университета, о формах и способах усложнения его содержания, о развитии реальных социальных субъектов, подпадающих под это понятие. Предстоит серьёзная работа, связанная с анализом институциональных форм и предметного содержания целеполагания и целереализации университета четвертого поколения, с построением теории изобретения и управления формами технико-экономического баланса и т.д. Представленные рассуждения следует понимать как демонстрацию глобального и всеобщего характера проблем развития университета, кажущихся частными и отдельными с позиций только науки, только экономики или только педагогики. Философия проясняет характер проблемы, показывает неполноту текущей аксиоматики, вектор и границы развития, однако решение проблемы – создание теории (развития) университета и её адекватное среде применение – подразумевает междисциплинарную интеграцию истории и социологии, теории управления и кибернетики, научных и инженерных дисциплин. Авторы выражают надежду на широкую дискуссию в университетских сообществах, на то, что сформулированные в статье тезисы найдут профессиональный отклик и окажутся пролегоменами к фундаментальной теории университета.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность профессору кафедры технической кибернетики Самарского университета, д.т.н. Александру Викторовичу Куприянову и профессору кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета, к.т.н. Николаю Михайловичу Боргесту за содержательное обсуждение и конструктивную критику, позволившие существенно улучшить ясность излагаемых в статье тезисов.

## Список источников

[1] Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская Энциклопедия, 1990. – 1632 с.

<sup>3</sup> Вопросы о будущем университетов обсуждаются и в России, и за рубежом на разных уровнях, как на страницах профильных СМИ, например, «Поиск» - <https://www.poisknews.ru/>, «Троицкий вариант» - <https://trv-science.ru/>, так, например, и в рамках отечественных сообществ, таких как АКУР (Ассоциации классических университетов России - <http://www.acur.msu.ru/>), АИОР (Ассоциации инженерного образования России - <http://www.ac-raee.ru/>). *Прим. ред.*

<sup>4</sup> Национальные проекты: целевые показатели и основные результаты. – М., 2019. – <http://government.ru/news/35675/>.

- [2] Duden "Bedeutungswörterbuch". – Mannheim; Wien, Zürich, 1985.
- [3] Философский энциклопедический словарь. – М.: Советская Энциклопедия, 1983. – 840 с.
- [4] Мифы народов мира. Энциклопедия. Т.2. – М.: Советская Энциклопедия, 1992. – 719 с.
- [5] Словарь Античности. М.: Прогресс, 1989. – 704 с.
- [6] Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Bd.2. – Stuttgart, Weimar, 2004.
- [7] **Ingarden, R.** Der Streit um die Existenz der Welt / R. Ingarden. Bd.1. – Tübingen, 1964.
- [8] **Гартман, Н.** К основоположению онтологии / Н. Гартман. – СПб.: Наука, 2003. – 639 с.
- [9] **Дубровский, Д.И.** Расшифровка кодов (методологические аспекты проблемы) / Д.И. Дубровский // Сознание, мозг, искусственный интеллект: сб. статей. – М.: ИД Стратегия-Центр, 2007. – 272 с. – С.183-203.
- [10] **Дубровский, Д.И.** Обман. Философско-психологический анализ / Д.И. Дубровский. – М.: Издательство "РЭИ", 1994. – 120 с.
- [11] **Энгельмейер, П.К.** Философия техники / П.К. Энгельмейер. – СПб.: Лань, 2013. – 93 с.
- [12] **Энгельмейер, П.К.** Теория творчества / П.К. Энгельмейер. – М.: Книжный дом Либроком", 2010. – 208 с.
- [13] **Стёпин, В.С.** Теоретическое знание / В.С. Стёпин. – М.: Прогресс-Традиция, 1999. – 390 с.
- [14] **Лепский, В.Е.** Эволюция представлений об управлении (методологический и философский анализ) / В.Е. Лепский. – М.: «Когито-Центр», 2015. – 107 с.
- [15] **Сёркин, В.П.** Шаманский лес / В.П. Сёркин. – Магадан: Северный междунар. ун-т, 2007. – 141 с.
- [16] **Гегель, Г.В.Ф.** Энциклопедия философских наук. Т. 1. Наука логики / Г.В.Ф. Гегель. – М.: Мысль, 1974. – 452 с.
- [17] **Günther, G.** Das Bewusstsein der Maschinen. Eine Metaphysik der Kybernetik / G. Günther. – Baden-Baden, 2002.
- [18] **Marx, K.** Ökonomisch-philosophische Manuskripte / K. Marx // Gesamtausgabe. Abt. 1, Bd.2. – Berlin, 1982.
- [19] **Маркузе, Г.** Одномерный человек / Г. Маркузе. – М.: REFL - book, 1994. – 368 с.
- [20] **Нестеров, А.Ю.** Семиотические основания техники и технического сознания / А.Ю. Нестеров. – Самара: Издательство Самарской гуманитарной академии, 2017 – 155 с.
- [21] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 1: история, прогноз, модели / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2011. - №1(2). – С.66-79.
- [22] **Боргест, Н.М.** Будущее университета: онтологический подход. Часть 2: сущности, мотивация, проектное обучение / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2012. - №1(3). – С. 87-105.
- [23] **Кант, И.** Спор факультетов / И. Кант // Собрание сочинений в восьми томах. Т.7. – М.: Чоро, 1994. – 495 с.
- [24] **Лаврентьев, М.А.** ...Прирастать будет Сибирию / М.А. Лаврентьев. – М.: Молодая гвардия, 1980. – 175 с.
- [25] **Wissema, J.G.** Toward the Third Generation University: Managing the University in Transition / J.G. Wissema. – Cheltenham, UK; Norhampton, MA, USA, 2009.
- [26] **Лапшин, И.И.** Философия изобретения и изобретение в философии: Введение в историю философии / И.И. Лапшин. – М.: Республика, 1999. – 399 с.
- [27] **Дессауэр, Фр.** Спор о технике / Фридрих Дессауэр. – Самара: Издательство Самарской гуманитарной академии, 2017 – 266 с.
- [28] **Ильин, Е.П.** Психология творчества, креативности, одаренности / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2009. – 448 с.
- [29] **Альтшуллер, Г.С.** Творчество как точная наука: Теория решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. – 175 с.
- [30] **Альтшуллер, Г.С.** О психологии изобретательского творчества / Г.С. Альтшуллер, Р.Б. Шапиро // Вопросы психологии. – 1956. – № 6. – С.37-49.
- [31] **Щедровицкий, Г.П.** Философия. Наука. Методология / Г.П. Щедровицкий. – М.: Школа. Культура. Политика, 1996. – 641 с.
- [32] **Горбунов, Д.В.** Технологическое будущее России: вызов «третьей природы» / Д.В. Горбунов, А.Ю. Нестеров // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т. 16. – №4. – С.60-71.
- [33] **Нестеров, А.Ю.** Границы технического сознания: немислимое vs невозможное / А.Ю. Нестеров // Гуманитарный вектор. – 2017. – Т. 12. - №3. – С.60-66.
- [34] **Каку, М.** Физика невозможного / М. Каку. – М.: Альпина нон-фикшн, 2009. – 456 с.
- [35] **Бисмарк, О.фон.** Политика есть искусство возможного / О. фон Бисмарк. – М.: Центрполиграф, 2015. – 160 с.
- [36] **Нестеров, А.Ю.** «Исполнение» в семиотике техники / А.Ю. Нестеров // Гуманитарный вектор. – 2018. – Т.13. - №3. – С.111-118.
- [37] **Гумбольдт, В.** О пределах государственной деятельности / В. Гумбольдт. – Челябинск: Социум; М.: Три квадрата, 2003. – 195 с.

## INNOVATIVE CONCEPT OF "SPACE" IN THE TRANSFORMATION MODEL OF THE UNIVERSITY

R.O. Samsonov<sup>a</sup>, A.Yu. Nesterov<sup>b</sup>

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

<sup>a</sup>samsonov.ro@ssau.ru, <sup>b</sup>aynesterow@yandex.ru

### Abstract

The article formulates the methodological foundations of the fourth generation university model. A university is understood as a social institution that performs the function of human development. The problem that the thoughts given in the article are focused on is the lack of a philosophical level university model developed in the current discussion field that meets the target indicators of the national projects "Science", "Education" and "Digital Economy". The research methodology is development schemes in the theory of knowledge, the theory of activity and the philosophy of technology. The result is a demonstration of an ontological scheme for constructing a transformational model of a university, allowing verification of the current state of affairs in the processes of reforming higher education in Russia, guaranteeing the coherence of the university's development standards as a social institution. In the first three paragraphs, the basic ontological prerequisites for the interaction of man and the cosmos are formulated, the content of the concepts of space, scientific knowledge and technical creativity is revealed, and the stages of the development of artificial nature are demonstrated. An ontological scheme is given that fixes the knowledge and action of a person in the actual and potential cosmos. In the fourth paragraph, the thesis is defended that the university is a form of social organization that performs the function of managing the interaction of space and man and that is developing in proportion to the level of science and technology. The fifth and sixth paragraphs discuss the so-called "generations" of universities, the transformation of the university is described as the consistent emancipation and institutionalization of the self-government functions of the social subject: the second generation of universities forms research management structures in the third generation - the structures for implementing research results in the real economy. In the seventh paragraph, the thesis is formulated that the fourth generation university synthesizing the forms of a research and entrepreneurial university in order to correspond to the current state of the artificial habitat of mankind must create in itself a goal setting management structure and learn to work with a new level of uncertainty.

**Key words:** space, Humboldt University, entrepreneurial university, fourth generation university, university 4.0, university transformation.

**Citation:** Samsonov RO, Nesterov AYU. Innovative concept of "space" in the transformation model of the university [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 175-190. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-175-190.

### References

- [1] Soviet Encyclopedic Dictionary [In Russian]. – Moscow: Soviet Encyclopedia, 1990.
- [2] Duden "Meaning dictionary" [In German]. Mannheim; Wien, Zürich, 1985.
- [3] Philosophical Encyclopedic Dictionary [In Russian]. – Moscow: Soviet Encyclopedia, 1983.
- [4] Myths of the peoples of the world. Encyclopedia. Vol.2 [In Russian]. – Moscow: Soviet Encyclopedia, 1991.
- [5] Dictionary of Antiquity [In Russian]. – Moscow: Progress, 1989.
- [6] Encyclopedia of Philosophy and Philosophy of Science. Vol.2. [In German]. Stuttgart, Weimar, 2004.
- [7] **Ingarden R.** The dispute over the existence of the world. Vol.1. [In German]. – Tübingen, 1964.
- [8] **Hartman N.** To the founding of ontology [In Russian]. – St. Petersburg: The science, 2003.
- [9] **Dubrovsky DI.** Deciphering codes (methodological aspects of the problem). Consciousness, brain, artificial intelligence [In Russian]. – Moscow: PH Strategy Center, 2007.
- [10] **Dubrovsky DI.** Lie. Philosophical and psychological analysis [In Russian]. – Moscow: Publisher "REY", 1994.
- [11] **Engelmeyer PK.** Philosophy of technology [In Russian]. – St. Petersburg: Fallow deer, 2013.
- [12] **Engelmeyer PK.** Theory of Creativity [In Russian]. – Moscow: Book House "Librokom", 2010.
- [13] **Stepin VS.** Theoretical knowledge [In Russian]. – Moscow: Progress Tradition, 1999.
- [14] **Lepsky VE.** The evolution of ideas about management (methodological and philosophical analysis) [In Russian]. – Moscow: Kogito Center, 2015.
- [15] **Serkin VP.** Shaman forest [In Russian]. – Magadan: North Intern. un-t, 2007.

- [16] **Hegel GVF**. Encyclopedia of Philosophy. V. 1. Science of Logic [In Russian]. – Moscow, 1974.
- [17] **Günther G**. The consciousness of the machines. A Metaphysics of Cybernetics [In German]. – Baden-Baden, 2002.
- [18] **Marx K**. Economical-philosophical manuscripts [In German]. Complete set of works. Cap. 1, Vol.2. – Berlin, 1982.
- [19] **Marcuse H**. One-dimensional person [In Russian]. – Moscow: REFL - book, 1994.
- [20] **Nesterov AYu**. Semiotic foundations of technology and technical consciousness [In Russian]. – Samara: Publishing House of Samara Academy of Humanities, 2017.
- [21] **Borgest NM**. The future of the university: an ontological approach. Part 1: history, forecast, models [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2011; 1(2): 66-79.
- [22] **Borgest NM**. The future of the university: an ontological approach. Part 2: entities, motivation, project training [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2012; 1(3): 87-105.
- [23] **Kant I**. Faculty Dispute. Collected Works in Eight Volumes. Vol.7. [In Russian]. – Moscow: Choro, 1994.
- [24] **Lavrentiev MA**. ... Will grow by Siberia [In Russian]. – Moscow: Young guard, 1980.
- [25] **Wissema JG**. Toward the Third Generation University: Managing the University in Transition. – Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA, 2009.
- [26] **Lapshin II**. Philosophy of invention and invention in philosophy: Introduction to the history of philosophy [In Russian]. – Moscow: Republic, 1999.
- [27] **Dessauer Fr**. The dispute on technology [In Russian]. – Samara: Publishing House of Samara Academy of Humanities, 2017.
- [28] **Ilyin EP**. Psychology of creativity, creativity, giftedness [In Russian]. – St. Petersburg: Peter, 2009.
- [29] **Altshuller GS**. Creativity as an exact science: Theory of solving inventive problems [In Russian]. – Moscow: Sov. radio, 1979.
- [30] **Altshuller GS, Shapiro RB**. On the psychology of inventive creativity [In Russian] // *Questions of psychology*. 1956; 6: 37-49.
- [31] **Shchedrovitsky GP**. Philosophy. Science. Methodology [In Russian]. – Moscow: School. Culture Politics, 1996.
- [32] **Gorbunov DV, Nesterov AYu**. Russia's technological future: the challenge of the "third nature" [In Russian]. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017; 16(4): 60-71.
- [33] **Nesterov AYu**. The boundaries of technical consciousness: the unthinkable vs impossible [In Russian]. *Humanitarian vector*. 2017; 12(3): 60-66.
- [34] **Kaku M**. Physics of the impossible [In Russian]. – Moscow: Alpina non-fiction, 2009.
- [35] **Bismarck O. von**. Politics is the art of the possible [In Russian]. – Moscow: Tsentrpoligraf, 2015.
- [36] **Nesterov AYu**. "Execution" in semiotics of technology [In Russian]. *Humanitarian vector*. 2018; 13(3): 111-118.
- [37] **Humboldt V**. On the limits of state activity [In Russian]. – Chelyabinsk: Socium; Moscow: Three squares, 2003.
- 

## Сведения об авторах



**Самсонов Роман Олегович**, 1961 г. рождения. Окончил Грозненский нефтяной институт им. акад. Миллионщикова (1983), к.т.н. (1999), д.т.н. (2008, специальность 05.13.01). Первый проректор Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. В списке научных трудов более 100 работ, 10 книг и монографий, 17 патентов.

**Roman Olegovich Samsonov** (b.1954) graduated from the Grozny Oil Institute named after acad. Millionshchikov in 1983, Ph.D. (1999), Doctor of Technical Sciences (2008). He is the First Vice-Rector of the Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev. He is a co-author of more than 100 papers, 10 books and monographs, 17 patents.



**Нестеров Александр Юрьевич**, 1978 г. рождения. Кандидат филологических наук, доктор философских наук. Заведующий кафедрой философии Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Область научных интересов: общая семиотика и герменевтика, философия науки и техники, теория значения. Автор перевода классического труда Фридриха Дессауэра «Спор о технике».

**Alexander Yurjewich Nesterov** (b. 1978) PhD on philology, Doctor (hab.) of philosophy, Head of the Department of Philosophy of the Samara National Research University. Area of scientific interests: general semiotics and hermeneutics, philosophy of science and technology, theory of meaning. Author of the translation of the classic work of Friedrich Dessauer "The controversy about technology."

УДК 597.97

## ОБОБЩЁННАЯ ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В КОНЦЕПЦИИ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**С.В. Микони**

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия  
smikoni@mail.ru

### Аннотация

Отличительной чертой современных сложных систем, именуемых киберфизическими системами, является совмещение объектов различной природы. По составу функций управления эти системы сравнивались с функциями управления человека-оператора, являющегося составным звеном социо-киберфизических систем. Эти обстоятельства потребовали обобщения понятий, употребляемых в сфере управления техническими и организационными объектами. Создание обобщённой системы понятий управления потребовало также уточнения связей между понятиями управления. В работе выполнен системный и лингвистический анализ ключевых понятий управления, сформулированных в сборнике рекомендуемых терминов. Определены четыре валентности глагола «управлять», необходимые для построения обобщённого определения понятия управление. Эти валентности составили базовую структуру онтологической модели определения управления. Она представлена в виде неоднородной семантической сети, в которую наряду с существенными признаками определения включены обобщённые свойства объекта и субъекта управления. Ими являются устойчивость и настойчивость соответственно. Обобщённые существенные признаки определения предложено рассматривать как переменные лингвистической формулы. При порождении из неё видового понятия управления такого, как управление качеством, выполняется означивание каждой переменной близким по смыслу термином соответствующей предметной области. Такой способ порождения видовых понятий управления обеспечивает системность и непротиворечивость их определений. Приняв определения базовых понятий предметной области за аксиомы, путём поэтапной конкретизации существенных признаков можно развернуть их в терминологическую систему предметной области.

**Ключевые слова:** понятие, термин, субъект, объект управления, управляющее воздействие, устойчивость, настойчивость, виды управления, валентности глагола, семантическая сеть.

**Цитирование:** Микони, С.В. Обобщённая онтологическая модель управления в концепции социо-киберфизической системы / С.В. Микони // *Онтология проектирования*. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.191-202. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.

### Введение

Одним из направлений технического прогресса является объединение объектов различной природы в рамках общей системы. Системы, сочетающие технические, сетевые, информационные технологии, получили название *киберфизические системы* (КФС) [1]. К особенностям этих систем следует отнести многообразие управленческих функций. Фактически речь идёт об «очеловечении» технических систем за счёт заимствования всё большего количества интеллектуальных функций живых организмов и, в частности, функций человеческого мозга. К ним относятся: предвидение, анализ, рассуждение, выбор. Эти функции реализуются современными самоорганизующимися системами, способными при изменении внешних или внутренних условий функционирования и развития сохранять или совершенствовать свою организацию с учетом прошлого опыта [2]. Этими же функциями обладает представитель социума в социо-киберфизической системе (СКФС) [3], выступающий в роли оператора.

О наличии проблемы согласования функций управления между человеком и компьютером свидетельствуют катастрофы, происходящие, например, на транспорте. Очевидно, что в рамках СКФС необходимо учитывать особенности функций управления, как технической системы, так и оператора, оставляя в нестандартных ситуациях последнее слово за человеком, представляющим собой более сложную и универсальную систему. Техническому решению этой проблемы могут способствовать концептуальные решения, основанные на онтологических моделях *управления*.

Поскольку «кирпичиками» онтологической модели являются понятия соответствующей предметной области (ПрО), первичной задачей является уточнение понятий управления. Они формулировались и развивались в трёх основных сферах управления: биологической (нервная система живого организма), организационной (управление социумом), технической (управление техническими объектами) с учётом особенностей этих ПрО. Совместное применение функций управления в этих областях требует должного уровня обобщения понятий управления. Что касается принципов управления в живых организмах, они воспроизводятся как в управлении техническими объектами, так и организациями (бионический подход в искусственном интеллекте). В технической сфере основополагающие понятия управления были представлены в сборнике рекомендуемых терминов [4].

В области организационного управления разработана серия международных стандартов ISO 9000, содержащих термины и определения, основные принципы менеджмента качества, требования к системе менеджмента качества организаций и предприятий, а также руководство по достижению устойчивого результата. Серия международных стандартов ISO 9000 оформлена в России в качестве государственных стандартов (ГОСТ) [5-7]. Однако качество перевода не всегда устраивает носителя русского языка. Одну из причин этой ситуации называет Ф.П. Тарасенко в предисловии к книге [8]: «Перевод англоязычных слов и предложений на русский язык сильно осложнён различием природных структур языков».

Качество американской терминологии в области управления оставляет желать лучшего. На это обратил внимание известный учёный и практик в сфере управления Рассел Акофф. Свою последнюю книгу он посвятил обсуждению различий между часто и широко используемыми терминами языка менеджмента [8]. Вот его утверждения в переводе Ф.П. Тарасенко: «Главной причиной ошибок при разработке управленческого решения часто является ошибочное толкование используемых понятий»; «Многие разногласия и конфликты происходят вследствие того, что стороны употребляют один термин в разных смыслах».

В качестве доступного примера Р. Акофф приводит неправильные, по его мнению, трактовки термина *менеджер*: «многие называют менеджерами администраторов, просто выполняющих волю других. На самом же деле менеджеру требуется значительно больше знать и уметь, чем администратору». Он различает три вида руководителей на основе соотношения *цель-средство*: *администратор* (*чужая цель, чужие средства её реализации*), *менеджер* (*чужая цель, свои средства*) и *лидер* (*своя цель, свои средства*). Осталась необозначенной пара (*своя цель, чужие средства*). Этой паре, по нашему мнению, соответствует термин *реформатор*. Заметим, что в основу обозначения понятий Р. Акофф положил чёткую классификацию. По аналогии с организационными системами технические субъекты управления на основе соотношения «цель-средство» могут играть роли администратора и менеджера, поскольку реализуют «чужие» цели, поставленные человеком. Теоретически рассматриваемая возможность реализации роботами своих целей может поставить под угрозу их сосуществование с человеком.

В русской терминологии все три типа руководителей, обозначенных Р. Акоффом, называют управленцами. Этот термин следует считать обобщающим, а не синонимом менеджеру. Но тогда, следуя Р. Акоффу, и менеджмент является видовым понятием, наряду с понятиями

*руководство, регулирование, хозяйствование* по отношению к русскому понятию *управление*, а не наоборот. В этом смысле менеджмент используется в стандартах ISO 9000. К видовым понятиям управления относятся также словосочетания: управление качеством, управление проектами, управление изменениями, принятые в качестве наименований соответствующих нормативных документов. Исходя из более общей трактовки понятия *управление*, правомерно принять его в качестве родового понятия по отношению к перечисленным выше понятиям, ибо все они используют общие принципы управления.

## 1 Требования к определениям понятий

Если систему базовых понятий ПрО принять за систему аксиом, то к ней применима вторая теорема Гёделя о неполноте. Поскольку центральным понятием системы является связность её элементов, необходимо различать типы связей между понятиями. К ним относятся: *атрибутивная* связь (иметь свойство, иметь значение), *связь-обобщение* (вид-род), *связь-присоединение* (часть-агрегат) и её частный случай *часть-целое*, *связь-принадлежность* (элемент-класс), *связь-влияние* (аргумент-функция). Разновидностями связи-влияния являются каузативная (причина-следствие), суммирующая, альтернативная и транзитивная связи [9].

Другой областью знания по отношению к ПрО, оформляемой в качестве текстового документа, является языкознание, правила которого применимы к этому документу. Определённые понятия также являются системой, поскольку все слова в предложении связаны по законам логики и грамматики. К нему, как к системе, применимы требования полноты, избыточности и непротиворечивости.

Связующую роль в любом предложении играют валентности глагола [10]. Полную информацию о глаголе дают ответы на следующие шесть вопросов (6W): Who, What, Why, Where, When, How (буква W в конце слова). Ответы на первые два вопроса конкретизируют субъект и объект действия. Ответ на вопрос Why (Зачем? Почему?) объясняет цель действия. Ответ на вопрос How (Как?) поясняет сущность определяемого понятия (как устроено, как действует). Ответы на вопросы Where и When дают пространственно-временную характеристику действия, конкретизируя его во времени и в пространстве. Заметим, что пространственно-временная характеристика действия является излишней для обобщающего понятия. Её использование влечёт переход определения в объяснение или инструкцию. Рассмотрим изложенные требования применительно к определениям понятия *управление* и определяющим его понятиям.

## 2 Понятие управление

Управление определено в нормативном документе [4] как *процесс выработки и осуществления управляющих воздействий*. Слово *процесс* здесь избыточно, поскольку оба отглагольных существительных относятся к категории процессов (действий). А вот определяющее слово «управляющих» создаёт фактически порочный круг в определении, причём не определена цель этих воздействий на объект. В этом смысле такое определение управления является малоинформативным. В нём фактически даётся ответ только на вопрос How (каким образом осуществляется управление).

Наряду с ответом на этот вопрос ответы на вопросы What (объект воздействий) и Why (цели управляющих воздействий) даёт определение управления, сформулированное в [11]: *осуществление совокупности воздействий, выбранных из множества возможных на основании определённой информации и направленных на поддержание или улучшение функцио-*

нирования **управляемого объекта** в соответствии с имеющейся программой или целью управления (алгоритмом функционирования).

Поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта фактически и есть обобщённые цели управления, а алгоритм функционирования является их конкретизацией. В этом определении отсутствует только ответ на вопрос Who (в определении отсутствует субъект воздействий). Субъект воздействий включён в определение управления, данное в [12]: *выработка и осуществление целенаправленных воздействий одного объекта (субъекта управления, далее СБУ) на другой объект (объект управления, далее ОБУ)*. Однако в этом определении исчезли обобщённые цели управления, сформулированные в [11].

Между тем, целенаправленность, как и целеустремлённость, присущи и другим видам деятельности субъекта, например, проектированию. Следовательно, эти качества не уникальны для выделения управления среди других видов деятельности. Другое дело, что управленческие функции присущи любому виду деятельности, но они составляют лишь часть её. Поэтому включение корня *цель* в слова *целенаправленность* и *целеустремлённость* несколько не проясняют общего назначения управления.

Согласно второй теореме Гёделя в силу принципиальных ограничений всякой формальной системы, к которым относятся и правила словообразования, ответ на вопрос о цели управления нужно находить во внешних по отношению к рассматриваемой Про системах. В нашем случае ею является физика, в которой, согласно первому закону Ньютона, *всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не выведет его из этого состояния*. Но управляющее воздействие и требуется для того, чтобы вернуть тело в состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (в частном случае), придав им смысл соответственно поддержания равновесия или улучшения функционирования (развития). Этот смысл отражает определение управления, данное в [13]: *выработка и осуществление воздействий одного объекта (СБУ) на другой объект (ОБУ) с целью поддержания его равновесия или развития*.

Равновесие ОБУ определим через его состояние, при котором значения основных параметров остаются неизменными. Развитие ОБУ определим через его состояние, при котором значения основных параметров изменится в нужном направлении. Здесь важно отметить тот факт, что состояние равновесия или улучшения функционирования (развитие) характеризует свойства именно ОБУ, проявляется через его показатели. Эти свойства являются целевыми, а управление является средством их реализации. Состояние равновесия характеризуется *устойчивостью* ОБУ, а улучшение функционирования можно характеризовать как *настойчивость* в достижении цели.

### **3 Основные атрибуты понятия управление**

В [14] утверждается, что обеспечение устойчивости ОБУ по отношению к воздействиям окружающей среды является первичной целью управляющих воздействий. В [4] показатели устойчивости рассматриваются как различные виды отклонений параметров ОБУ от заданных величин. Учитывая русскоязычное происхождение слов *устойчивость* и *настойчивость*, принадлежащих одному словообразовательному гнезду с корнем *стой* (см. рисунок 1), проведём их грамматический разбор [15].

Основной смысл глагола *стой* заключается в «нахождении в вертикальном положении, не двигаясь с места» [16]. Не двигаться с места следует трактовать как пребывание в покое (без изменений). Слово *стойкость* наиболее близко по смыслу слову *стойкий* (объект, долго сохраняющий свои свойства, не поддающийся разрушению). Именно в этом смысле понимается, например, *стойкость* к физическим или химическим воздействиям. Содержащие корень

стой слова *устойчивость* и *настойчивость* также характеризуют разные виды сохранения при наличии возмущений: *устойчивость* – свойств ОБУ, а *настойчивость* – цели СБУ.

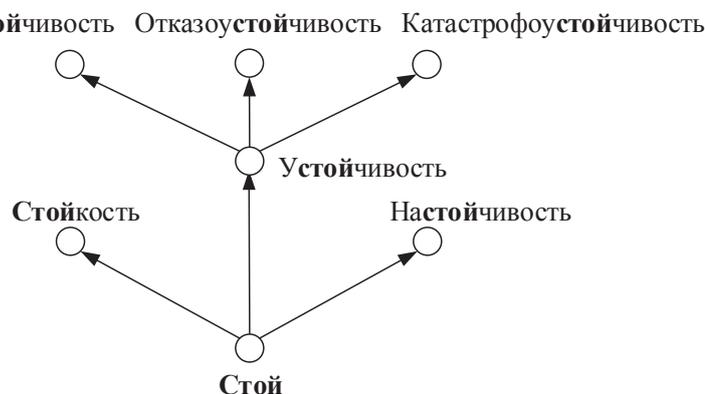


Рисунок 1 – Часть словообразовательного гнезда с корнем *стой*

Отглагольное существительное *устойчивость* образовано от глагола *устоять* с наиболее общим значением «не поддаться некоторому воздействию», т.е. сохранить своё состояние. Средством обеспечения устойчивости объекта является его сопротивляемость воздействиям. В этом смысле слово *устойчивость* определим, как *свойство объекта выполнять свои функции в условиях возмущающих воздействий внутренней и внешней среды*.

По средствам обеспечения устойчивости её делят на *пассивную* и *активную* [17]. Под пассивной устойчивостью (в медицине – резистентностью) понимают *естественную сопротивляемость объекта (субъекта) внутренним и внешним воздействиям*. Пассивная устойчивость обеспечивается физико-химическими и конструктивными средствами и не требует применения функций управления. Функции управления востребованы для обеспечения активной устойчивости, к которой относятся такие свойства объекта, как гомеостазис, адаптивность и проактивность [18]. К временным характеристикам устойчивости относится надёжность объекта [19]. Устойчивость сложных систем включает обе составляющие – пассивную и активную.

Отглагольное существительное *настойчивость* образовано от глагола «настоять» с наиболее общим значением «достичь поставленной цели». Несмотря на то, что глагол *достичь* характеризует движение некоторой сущности, к нему может быть применено значение неизменности в достижении цели в условиях препятствия этому движению.

Помимо рассмотренных понятий на рисунке 1 показаны *помехоустойчивость*, *отказоустойчивость* и *катастрофоустойчивость* как первые производные от слова *устойчивость* и вторые производные от корня *стой*. Отметим, что из словообразовательного гнезда выбраны только те производные слова, которые имеют отношение к управлению.

Обобщённым показателем, характеризующим *устойчивость* ОБУ и *настойчивость* СБУ, является *отклонение*. В широком смысле под ним понимается несоответствие текущего состояния ОБУ или СБУ заданному состоянию, возникшее в результате возмущающего воздействия внутренней или внешней среды. Состояние ОБУ и СБУ детализируется параметрами, характеризующими конкретные свойства объекта и субъекта. Таким образом, несоответствие текущего состояния проявляется через отклонения значений контролируемых параметров от заданных для них значений, в теории автоматического регулирования называемых *уставками* [20]. Они фактически представляют собой целевые значения управляемых параметров. В задаче обеспечения равновесия ОБУ уставки параметров постоянны, а в задаче обеспечения его развития они являются функциями времени.

Уставки могут изменяться во времени либо за счёт адаптации (приспособления) СБУ к новому состоянию внутренней или внешней среды, либо на основе выбора следующего шага на пути продвижения к цели. Приспособление и выбор – это прерогатива СБУ, реализующего свои цели через ОБУ. Выбор делается на основе предвидения полезности результата. Поскольку предвидение не отличается абсолютной достоверностью, траектория, задаваемая СБУ для продвижения к заданной цели, может оказаться ошибочной.

В математике параметр трактуется как величина, *неизменная* в данной задаче, но *не являющаяся её универсальной константой*. Именно такой смысл имеют термины *управляющий* и *управляемый параметр*. Первый из них задаётся исходно, а второй восстанавливается на нужное значение.

Определённые трудности вызывает соотношение понятий *воздействие*, *сигнал*, *параметр* и *значение*. Сигнал является средством влияния (воздействия) одной сущности на другую и представляет собой носитель информации. Понятия *воздействие*, *сигнал*, *параметр* и *значение* связаны следующей цепочкой атрибутивных связей (иметь свойство, иметь значение): *воздействие*  $\Rightarrow$  *сигнал*  $\Rightarrow$  *параметр*  $\Rightarrow$  *значение*. Нарушение последовательности и направленности атрибутивных связей между этими понятиями приводит, по меньшей мере, к неясным определениям различных видов воздействий.

Поскольку воздействия осуществляются через связи, следует рассматривать внешние и внутренние воздействия. К внутренним воздействиям относятся управляющее воздействие СБУ на ОБУ, воздействие ОБУ на СБУ через обратную связь и воздействия, связанные с изменением состояния самих объекта и СБУ. Следует отметить, что все перечисленные виды воздействий являются входными. Все они действуют на реальные или условные входы системы и её элементов. Словосочетание *выходное воздействие* противоречиво по той причине, что не указан адресат влияния (на что направлено воздействие). На выходах любой системы принято фиксировать *реакцию* на входное воздействие. В математике ей соответствует значение функции. Оно может рассматриваться как аргумент только применительно к *обратному* отображению.

#### **4 Семантическая сеть понятий управления**

Семантическая сеть основных понятий управления представлена на рисунке 2. Его верхняя часть отражает структуру определения понятия *управление*. Центральную роль в ней играет глагол «управляет» с рекомендуемой валентностью (числом вопросов) четыре. Валентности глагола показаны пунктирными стрелками. Два ответа на вопрос «зачем?» соответствуют двум обобщённым целям управления, реализуемым через обобщённые свойства ОБУ и СБУ. Равновесие ОБУ достигается через обеспечение его устойчивости, а его развитие – устойчивостью субъекта в преодолении всех препятствий на пути к этой цели.

Поскольку первый закон Ньютона выражен через *состояние* тела, это понятие и используется в качестве обобщённого показателя устойчивости и настойчивости. Между этими свойствами объекта и субъекта управления и соответствующими им состояниями существует атрибутивная связь [9]. На рисунке 2 она показана двойными стрелками.

Состояние формализуется кортежем параметров. Поскольку кортеж параметров можно трактовать как класс упорядоченных элементов, каждый параметр связан с состоянием связью «элемент-класс». На рисунке 2 этот вид связи обозначен тонкими стрелками. Параметры, характеризующие состояние ОБУ, называются управляемыми, а параметры, характеризующие состояние СБУ – управляющими.

Управляющему параметру внешний СБУ задаёт целевое значение (ставку). В самоорганизующейся системе ставки вырабатываются верхним уровнем самой системы (см. рису-



Поскольку список конкретных целей управления остаётся открытым, ограничимся двумя целями, приведёнными в определении управления, а именно: обеспечение равновесия или развития ОБУ. Первую цель реализует *регулирование* параметров объекта, а вторую – *проактивное управление*, основанное на предвидении его последствий. Цели этих видов управления могут детализироваться относительно способов реализации или получаемых результатов. Например, регулирование может быть *стабилизационным* (с постоянными уставками) и *адаптивным* (с меняющимися уставками).

Отсутствию обратной связи «Объект – Субъект» соответствует жёсткое управление объектом, называемое *программным* управлением. По виду обратной связи различают отрицательную и положительную обратные связи.

Структура связей между СБУ и ОБУ характеризует их количественное соотношение и связи между ними. Имеют место следующие структуры СБУ-ОБУ (рисунок 3): один к одному; один ко многим; многие к одному; многие ко многим.

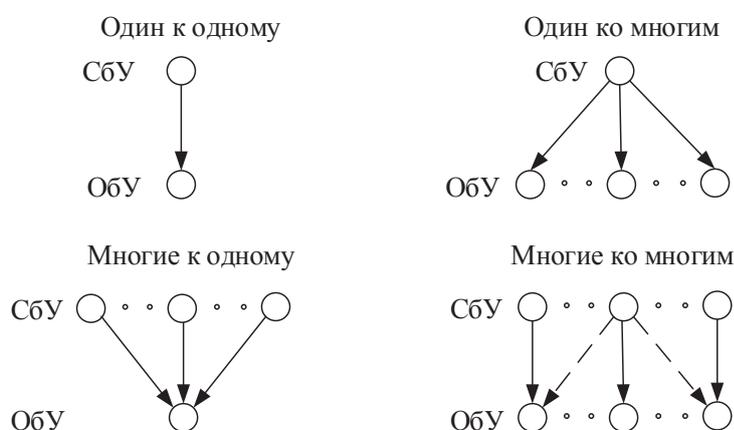


Рисунок 3 – Варианты структур СБУ - ОБУ

Первые две структуры соответствуют *индивидуальному* управлению. Один субъект управляет одним или многими объектами. Вторые две структуры относят к *коллективному* управлению. Первая из них соответствует множественному управлению одним объектом (именно этому варианту соответствует параллельное ручное и автоматическое управление летательным аппаратом). При отсутствии должного согласования управленческих функций возникает конфликтная ситуация. В варианте «многие ко многим» каждый субъект управляет своим объектом или реализуется предыдущий вариант со стороны отдельных или всех субъектов.

По направленности управляющих воздействий между субъектами следует различать одно- и двунаправленные воздействия. Однонаправленным воздействиям соответствует *подчинение* одного субъекта другому, соответствующее *вертикальному* управлению в иерархии, а двунаправленным воздействиям – согласование (*координация*) управляющих воздействий субъектов. Этот вид управления широко используется в многоагентных системах. В зависимости от степени определённости внешней среды используются разные модели управления. По степени участия человека в управлении различают *ручное* и *автоматическое* управление.

Дихотомическая классификация рассматривает только противоположные видовые понятия. На практике они обычно совмещаются. В особенности это касается сложных систем. Например, наиболее распространённым по степени участия человека в управлении является смешанный вариант, называемый *автоматизированным* управлением. Аналогичным образом, в сложных системах совмещается автоматическое регулирование и проактивное управление.

## 6 Управление качеством

Наряду с термином *управление качеством* в этой ПрО используется термин *менеджмент качества* (quality management). Во введении было показано, что в русской терминологии менеджмент является разновидностью управления.

В стандарте ISO-8402 *управление качеством* определено как *методы и виды деятельности стратегического и оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству*. С точки зрения кто, кем, как и зачем управляет, в этом определении есть ответ только на последний вопрос (выделен жирным шрифтом).

В стандарте ГОСТ ISO 9000-2011 понятие *менеджмент качества* определено как *скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству*. Руководство и управление осуществляются с помощью управляющих воздействий на объект управления и с этой точки зрения являются синонимами. Поскольку *менеджмент* определён как разновидность управления, это определение имеет порочный круг (определяемое определяется через себя). *Управление качеством* и *менеджмент качества* являются видовыми понятиями управления с видовым отличием *качество*, обозначающим сферу применения. Термины сферы применения должны отражать особенности этой ПрО.

Примем определение управления за формулу, в которой существенные признаки играют роль лингвистических переменных, а термины сферы применения управления принимаются за значения этих переменных. Тогда задача формирования определения видового понятия сводится к означиванию лингвистических переменных. Оно выполняется подбором терминов, близких по смыслу каждой переменной.

Формирование существенных признаков видового понятия можно показать на примере понятия *управление качеством*, в приведённом определении которого отсутствуют СБУ и ОБУ. Пусть ОБУ является продукция предприятия. Тогда СБУ качеством должно быть назначено одно из его подразделений. Целевые признаки *равновесие* и *развитие* ОБУ из общего определения управления применительно к качеству интерпретируются соответственно в *обеспечение* и *улучшение* качества ОБУ (продукции предприятия). Именно эти цели конкретизируют требования к качеству. *Управляющие воздействия* представимы совокупностью конкретных мероприятий, направленных на достижение поставленных целей.

### Заключение

Естественный язык является универсальной системой моделирования внешнего и внутреннего мира человека. Как язык моделирования он в наибольшей степени востребован в онтологических моделях ПрО. Тенденция объединения объектов различной природы в системы различного назначения нуждается в соответствующем языковом обеспечении. Согласно анализируемой ПрО центральная роль в работе отведена определению понятия *управление*.

Для формулирования целей управления был привлечён первый закон Ньютона. Его расширенная трактовка позволила выделить управление среди других видов деятельности, обладающих целенаправленностью и целеустремлённостью.

Замена термина *управляющий объект* на СБУ связана с реализацией им функций управления, независимо от того, кто выполняет эти функции – человек или робот. Это и есть один из примеров обобщения объектов естественной и искусственной природы в области управления. СБУ и ОБУ могут иметь *любую природу* (вещественную, энергетическую, информационную) и их разновидности (физическую, биологическую, социальную, техническую и др).

Определение понятия *управление* положено в основу семантической сети, связавшей ключевые понятия этой ПрО. В качестве связующего понятия принят глагол «управлять» с поясняющими его четырьмя валентностями. Эта модель в явном виде приобретает черты

иерархической модели при раскрытии верхнего уровня управления в семантическую сеть. В силу своей общности она может играть роль базовой модели для трактовки соответствующих узкодисциплинарных понятий. Предложено рассматривать существенные признаки определений базовых понятий ПрО как лингвистические переменные. Их означивание терминами конкретной ПрО позволяет формализовать процесс порождения её понятий.

Ввиду невозможности перечисления всех видов управления, специфических в каждой ПрО, предложены базовые виды управления. Совокупностью этих видов может характеризоваться конкретное управление в различных областях с привлечением присущих им особенностей. В основу многообразия структур управления положены четыре варианта, которые могут детализироваться в конкретные структуры.

Предлагаемая онтологическая модель обобщённых понятий управления не претендует на полноту охвата всех понятий, применяемых в области управления, и может детализироваться понятиями узкодисциплинарных терминологических систем.

### **Благодарности**

Исследования проводились при финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-01-00139 и № 19-08-00989 в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

### **Список источников**

- [1] *Lee, E.A.* Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach / E.A. Lee, S.A. Seshia // Second Edition, MIT Press, 2017. ISBN 978-0-262-53381-2.
- [2] *Ashby, W.R.* Principles of self-organizing dynamic system / W.R. Ashby // J. Gen. Psychology. 1947, v.37. P.125–128.
- [3] *Suryanarayanan, S.* Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering / S. Suryanarayanan, R. Roche, T.M. Hansen - 2016. – 521 p. ISBN: 1849199361.
- [4] Сборник рекомендуемых терминов. Теория управления. Терминология. Вып. 107. М.: Наука, 1988. – 54 с.
- [5] Международный стандарт ИСО 9001:2015. Системы менеджмента качества. Требования.
- [6] ГОСТ Р ИСО 10006-2005. Системы менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании.
- [7] Standard for change management. A publication of The Association of Change Management Professionals (ACMP) Winter Springs, Florida, USA.
- [8] *Акофф, Р.Л.* Различия, которые имеют значение: Аннотированный глоссарий различий, важных для менеджмента / Науч. ред. и пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд. дом Том. гос. ун-та, 2016. – 216 с.
- [9] *Микони, С.В.* Формализованный подход к установлению связи и роли понятий / С.В. Микони // Труды XXI Международной объединенной конференции «Интернет и современное общество, IMS-2018. СПб. 30.05-2.06.2018. Сборник научных статей. – СПб.: Университет ИТМО. 2018. – С. 77-86.
- [10] *Кацнельсон, С.Д.* К понятию типов валентности / С.Д. Кацнельсон // Вопросы языкознания. 1973. № 3. – С.20-32.
- [11] Статья "Управление". Энциклопедия современной техники. Автоматизация производства и промышленная электроника. Под ред. А.И. Берга и В.А. Трапезникова. Том. 4. М.: Изд-во "Советская энциклопедия", 1965. – С.149-150.
- [12] *Микони, С.В.* Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов / С.В. Микони, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов – М.: РАН, 2018. – 314 с. - DOI:10.31857/S9785907036321000001.
- [13] *Микони, С.В.* Формализация определений понятий как условие повышения качества содержательных моделей / С.В. Микони // Сборник докладов XX Международной конференции «Мягкие вычисления и измерения» SCM-2017. СПб. 24-26.05.2017. СПб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 2017. – С. 19-22.
- [14] *Тарасенко, Ф.П.* Прикладной системный анализ: Наука и искусство решения проблем / Ф.П. Тарасенко. – Томск. 2004. – 186 с.
- [15] Современный толковый словарь русского языка. Под редакцией С.А. Кузнецова. – М.: Ридерс Дайджест, 2004. – 960 с.
- [16] Словарь русского языка. В 4-х т. РАН, Ин-т лингвистических исследований. Под ред. А. П. Евгеньевой. 4-е изд., стер. М.: Рус. яз. Полиграф. ресурсы. 1999.

- [17] **Микони, С.В.** О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // *Онтология проектирования*. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С. 347-360. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [18] **Охтилев, М.Ю.** Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы / М.Ю. Охтилев, Н.Г. Мустафин, В.Е. Миллер и др. // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2014. – Т. 57, № 11. – С.7–15.
- [19] ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.
- [20] ГОСТ 17703-72: Аппараты электрические коммутационные. Основные понятия. Термины и определения.
- [21] **Кузнецова, В.Л.** Самоорганизация в технических системах / В.Л. Кузнецова, М.А. Раков. – Киев: Наукова думка. 1987. – 197 с.

## GENERALIZED ONTOLOGICAL MODEL OF CONTROL IN THE CONCEPT OF SOCIO-CYBERPHYSICAL SYSTEM

**S.V. Mikoni**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*  
smikoni@mail.ru

### Abstract

A distinctive feature of modern complex systems, called cyber-physical systems, is the combination of objects of different nature. In terms of the composition of the control functions, these systems are equal to the control functions of a human operator, which is an integral part of socio-cyber-physical systems. These circumstances required a generalization of the concepts used in the control and management of technical and organizational objects. The creation of a generalized system of control concepts also demanded clarification of the connections between control concepts. The paper contains a systematic and linguistic analysis of key control concepts formulated earlier in the collection of recommended terms. The four valences of the verb “control”, necessary for the construction of a generalized definition of the concept of control, are defined. These valences constituted the basic structure of the ontological model of control definition. It is presented in the form of a heterogeneous semantic network, which, along with the essential features of the definition, includes the generalized properties of the object and the subject of management. They are stability and perseverance, respectively. Generalized essential features of the definition are proposed to be considered as variables of a linguistic formula. When a species control concept is generated from it, such as quality management, each variable is assigned the meaning of a corresponding subject domain. Such a method of giving birth to species-specific management concepts ensures the consistency of their definitions. Having accepted the definitions of the basic concepts of the subject domain for the axioms, by phasing out the essential features, you can expand them into the terminological system of the subject domain.

**Key words:** *concept, term, subject, control object, control action, sustainability, perseverance, control, controlled parameter, types of control, verb valences, semantic network.*

**Citation:** *Mikoni SV. Generalized ontological model of control in the concept of a socio-cyberphysical system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 191-202. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.*

### Acknowledgment

The studies were carried out with the financial support of the RFBR grant No. 17-01-00139 № 19-08-00989 within the framework of the budget theme No. 0073-2019-0004.

### References

- [1] **Lee EA, Seshia SA.** *Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach*, Second Edition, MIT Press, 2017. ISBN 978-0-262-53381-2.
- [2] **Ashby WR.** Principles of self-organizing dynamic system. *J. Gen. Psychology*. 1947. v. 37. p.125–128.
- [3] **Suryanarayanan S, Roche R, Hansen TM.** *Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering* 2016. – 521 p. ISBN: 1849199361.

- [4] Sbornik rekomenduemih terminov. Teoriya upravleniya. Terminologiya. [Collection of recommended terms. Control Theory. Terminology] [In Russian]. Vip. 107. – M.: Nauka, 1988. – 54 p.
- [5] ISO 9001:2015 Quality management systems - Requirements.
- [6] ANSI/PMI 99-001-2000. Quality management systems. Guidelines for quality management in projects (IDT).
- [7] Standard for change management. A publication of The Association of Change Management Professionals (ACMP) Winter Springs, Florida, USA.
- [8] **Ackoff RL.** Differences That Make a Difference, An Annotated Glossary of Distinctions Important in Management. Devon. Triarchy Press. 2010.
- [9] **Mikoni SV.** Formalizovannii podhod k ustanovleniyu svyazi i roli ponyatii [A formalized approach to establishing the relationship and the role of concepts] [In Russian]. Kompyuternaya lingvistika i vichislitelnie ontologii. Vipusk 2. \_Trudi XXI Mejdunarodnoi obedinennoi konferencii "Internet i sovremennoe obschestvo" IMS-2018. (SPb.: 30.05-2.06.2018). Sbornik nauchnih statei. SPb.: Universitet ITMO. 2018. - P.75-84.
- [10] **Kacnelson SD.** K ponyatiyu tipov valentnosti [On the concept of valence types] [In Russian]. Voprosi yazikoznaniya. 1973; 3: 20-32.
- [11] Statya "Upravlenie". Enciklopediya sovremennoi tehniki. Avtomatizaciya proizvodstva i promishlennaya elektronika. [Article "Control". Encyclopedia of modern technology. Industrial automation and industrial electronics] [In Russian]. Pod red. A.I. Berga i V.A. Trapeznikova. Tom. 4. M.\_Izd\_vo "Sovetskaya enciklopediya", 1965. – P.149-150.
- [12] **Mikoni SV, Sokolov BV, Yusupov RM.** Kvalimetriya modelei i polimodelnih kompleksov. [Qualimetry of models and multi-model complexes] [In Russian]. – M.: RAS, 2018. – 314 p.
- [13] **Mikoni SV.** Formalizaciya opredelenii ponyatii kak uslovie povisheniya kachestva soderzhatelnih modelei. [Formalization of definitions of concepts as a condition for improving the quality of subject models] [In Russian]. Sbornik dokladov XX Mejdunarodnoi konferencii «Myagkie vichisleniya i izmereniya» SCM-2017. (SPb. 24-26.05.2017) SPb.: SPbGETU (LETI), 2017. – P.19-22.
- [14] **Tarasenko FP.** Prikladnoi sistemnii analiz. Nauka i iskusstvo resheniya problem. [Applied Systems Analysis: Science and the Art of Problem Solving: A Textbook] [In Russian]. – Tomsk: 2004. – 186 p.
- [15] Sovremennii tolkovii slovar russkogo yazika [Modern dictionary of the Russian language.] [In Russian]. Pod redakciei S.A. Kuznecova. – M.: Riders Daidjest, 2004. – 960 p.
- [16] Slovar russkogo yazika. V 4. h t. RAN Institut lingvisticheskikh issledovanii [Russian dictionary] [In Russian]. Pod red. A.P. Evgenevoi. 4-e izd. ster. M.: Rus. yaz. Poligraf. Resursi.
- [17] **Mikoni SV.** On the quality of ontological models [In Russian]. *Ontology of designing.* – 2017; 7(3): 347-360. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [18] **Ohtilev MYu, Mustafin NG, Miller VE.** Konceptiya proaktivnogo upravleniya slojnimi obektami\_ teoreticheskie i tehnologicheskie osnovi [The concept of proactive management of complex objects: theoretical and technological foundations] [In Russian]. *Izv. vuzov. Priborostroenie.* – 2014; 57(11): 7–15.
- [19] GOST 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and Definitions. [In Russian].
- [20] GOST 17703-72: Electrical switching devices. Basic concepts. Terms and Definitions. [In Russian].
- [21] **Kuznecova VL, Rakov MA.** Samoorganizaciya v tehniceskikh sistemah [Self-organization in technical systems] [In Russian]. – Kiev: Naukova dumka. 1987. – 197 p.

## Сведения об авторе



**Микони Станислав Витальевич**, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994), ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций свыше 300 работ, из них 3 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта, качествоведения.

**Stanislav Vitalievich Mikoni** (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994). He is Russian Association of Artificial Intelligence member (1998). He is author and co-author of more than 300 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematic, system analyses, artificial intelligence, decision making theory, quality studies.

УДК 519.711.3

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ КОРРЕКТИРОВКЕ ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

А.З. Асанов<sup>1</sup>, И.Ю. Мышкина<sup>2,a</sup>, Л.Ю. Грудцына<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Институт кибернетики МИРЭА – Российского технологического университета, Москва, Россия  
asanov@mirea.ru

<sup>2</sup> Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия

<sup>a</sup>mirinau@mail.ru, <sup>b</sup>larisa\_u\_g@mail.ru

### Аннотация

Рассматривается возможность применения когнитивных моделей для прогнозирования востребованности компетенций на рынке труда. Выделены возможные направления применения когнитивного моделирования при решении задачи прогнозирования востребованности компетенций. Основные задачи исследования: выбор факторов, влияющих на востребованность компетенций, выбор типа когнитивной модели, анализ возможности применения профессиональных стандартов при построении когнитивной модели. Оценивается возможность учёта полученных прогнозов ценности компетенций при корректировке программ обучения в ВУЗе, при этом используется когнитивная модель программы обучения. Новизна предложенного подхода к прогнозированию востребованности компетенций с помощью когнитивных карт заключается в том, что применение когнитивных моделей позволяет при решении рассматриваемой задачи использовать большое число разнородных качественных и количественных факторов: данные о востребованных и прогнозируемых новых профессиях, результаты экспертных опросов, данные о перспективных научных направлениях, данные о тематике и числе научных публикаций и т.п., а также преемственные связи между компетенциями, отражающие стадии их формирования. Полученные результаты применяются при корректировке программы обучения бакалавров.

**Ключевые слова:** компетенция, прогнозирование востребованности, когнитивная модель, программа обучения.

**Цитирование:** Асанов, А.З. Прогнозирование востребованности компетенций при корректировке программ обучения с помощью когнитивных моделей / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.203-213. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-203-213.

### Введение

В настоящее время практически для всех сфер профессиональной деятельности характерна высокая скорость изменений и роста новых знаний и требований к работникам и соискателям вакансий. В соответствующем темпе должны изменяться и адаптироваться к новым требованиям рынка труда и профессиональные образовательные программы. В этих условиях актуальной становится задача разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия решений при взаимодействии образовательных учреждений (ОУ) и работодателей, позволяющих вырабатывать рекомендации по корректировке программ обучения (ПО) с целью адаптации ПО к требованиям рынка труда на основе компетентностного подхода. Принятие решений при этом должно осуществляться не на основе анализа текущих потребностей рынка труда, а на основе оценок востребованности компетенций на момент окончания срока обучения, что делает актуальной задачу прогнозирования востребованности компетенций.

Задача прогнозирования в системе «ВУЗ-производство» в российской практике в настоящее время касается, прежде всего, количественного прогнозирования востребованности профессий; а такая «качественная характеристика» при прогнозировании потребности в кадрах как прогнозирование компетенций, как правило, не рассматривается [1]. В данном случае наиболее целесообразным для формирования ПО становится выбор компетенций, соответствующих востребованным профессиям в некоторый будущий период времени. Существующие подходы к прогнозированию компетенций основаны либо на результатах опросов работодателей, либо на результатах опросов экспертов – квалифицированных преподавателей ВУЗов и ведущих учёных, работающих в рассматриваемых областях знаний [2, 3].

Целью данной работы является исследование возможности применения, наряду с результатами экспертных опросов и количественных прогнозов востребованных профессий, множества разнородных измеряемых показателей, влияющих на востребованность компетенций, и исследование возможности получения количественной оценки «будущей» значимости компетенций для корректировки ПО.

Создание систем поддержки принятия решений в слабо формализуемых сложных системах требует формального описания понятий, понятийных структур, взаимодействующих при принятии решений, т.е. здесь требуются онтологические модели. Принятие решений связано с реальной ситуацией, которая также должна быть представлена в виде некоторой модели, построенной на основе понятийных представлений. Поэтому поставленная задача прогнозирования востребованности компетенций при корректировке программ обучения тесно связана с онтологическим моделированием [4] в ситуационном управлении.

## **1 Возможности и перспективы использования когнитивного моделирования**

Одним из инструментов, позволяющих учитывать множество разнородных факторов, влияющих на развитие исследуемой проблемной ситуации, и связи между ними, являются когнитивные карты. Полагаем, что применение когнитивного моделирования для решения задачи прогнозирования востребованности компетенций может быть осуществлено по следующим направлениям.

Первое направление заключается в использовании когнитивных моделей для прогнозирования социально-экономического развития региона, в том числе для прогнозирования потребности в профессиональных кадрах [2, 5].

Второе направление заключается в применении для прогнозирования востребованности компетенций когнитивных моделей, позволяющих одновременно учитывать ряд таких показателей, как данные о востребованных [6] и прогнозируемых новых профессиях [7], результаты экспертных опросов, данные о перспективных научных направлениях, данные о тематике и числе научных публикаций и т.п., а также преемственные связи между компетенциями, отражающие стадии их формирования.

Таким образом, вершины когнитивной карты могут соответствовать факторам, позволяющим оценить значимость компетенций:

- группа вершин А - перспективные профессии (в том числе и из числа новых профессий), перспективные научные направления, число научных публикаций, патентов, проектов-победителей по грантовым программам по различным научным направлениям и т.п.;
- группа вершин Б - учебные компетенции, формируемые в процессе освоения ПО и новые компетенции, претендующие на включение в образовательную программу.

Каждая вершина из группы А связана с соответствующими вершинами-компетенциями, связи между вершинами группы Б (вершинами-компетенциями) означают наличие преемственности соответствующих компетенции знаний, умений и владений. Начальные значения

задаются для вершин группы А и представляют собой экспертные оценки степени соответствия данной вершины (профессии, научного направления) анализируемому направлению подготовки. Данные оценки фактически выражают имеющийся потенциал ВУЗа и выпускающей кафедры в осуществлении возможной корректировки и последующей реализации ПО для студентов анализируемого направления подготовки. Веса влияний, идущих от вершин группы А к вершинам-компетенциям, соответствуют ценности компетенций для соответствующей вершины группы А. Веса влияний между вершинами-компетенциями (в группе Б) соответствуют силе преемственной связи между компетенциями. В зависимости от характера используемых оценок параметров вершин (чёткие или нечёткие) и весов влияний (чёткие, нечёткие оценки или нечёткие продукции) могут быть использованы когнитивные модели различных типов. В результате расчёта значений вершин-компетенций на основе начальных значений вершин группы Б получают оценки значимости компетенций, которые соответствуют конечным значениям вершин-компетенций.

На основе построенной когнитивной модели ПО и оценок «будущей» ценности компетенций могут быть выработаны рекомендации по корректировке ПО. Данная когнитивная модель может быть расширена за счёт включения новых вершин, соответствующих другим возможным факторам, указывающим на востребованность компетенций. В статье рассматривается задача прогнозирования востребованности компетенций с помощью анализа требований профессиональных стандартов.

## 2 Когнитивные модели

### 2.1 Когнитивная модель ПО

В качестве модели ПО выбрана нечёткая продукционная когнитивная карта. В этих картах вершины (концепты) представлены в виде нечётких множеств. Причинно-следственные отношения между двумя вершинами выражены в виде нечётких правил со структурой «один вход–один выход» [8-11]. Соответствующая когнитивная модель ПО имеет вид [8]:

$$(1) \quad \Phi = \langle G, X, W \rangle,$$

где:

$G = \langle V, E \rangle$  – ориентированный граф (орграф),

$V$  – множество вершин (концептов), причём  $V = \{V_i\}$ ,  $i = \overline{1, Q}$ ,

$Q$  – количество вершин (концептов),  $Q = K_m + K + M + L + N$ ,

$K_m$  – общее число модулей (разделов дисциплин,  $i = \overline{1, K_m}$ ),

$K$  – число профессиональных компетенций,

$M$  – число общекультурных компетенций,

$L$  – число общепрофессиональных компетенций ( $i = \overline{K_m + 1, K_m + K + M + L}$ ),

$N$  – число дисциплин ПО ( $i = \overline{K_m + 1 + K + M + L, Q}$ ).

$E = \{e_{ij}\}$ ,  $i, j = \overline{1, Q}$  – множество дуг, причём:

1)  $e_{ij} = 1$ ,  $i, j = \overline{1, K_m}$ , если модуль  $V_j$  является родительским для изучения модуля  $V_i$ ;

2)  $e_{ij} = 1$ ,  $i = \overline{K_m + 1, K_m + K + M + L}$ ,  $j = \overline{1, K_m}$ , если компетенция  $V_i$  формируется в ходе изучения модуля  $V_j$ ;

3)  $e_{ij} = 1, i = \overline{1, K_m}, j = \overline{K_m + 1, K_m + 1 + K + M + L, Q}$ , если модуль  $V_i$  является частью дисциплины  $V_j$ .

$X = \{X^{V_i}\}, i = \overline{1, Q}$  – множество параметров вершин  $V$  (значения концептов  $V$  – ценность концепта для осуществления будущей профессиональной деятельности). Каждый концепт описывается соответствующей лингвистической переменной (ЛП)  $\langle \tilde{X}_i, T_i, D_i \rangle$  ( $T_i$  и  $D_i$  – терм-множество и базовое множество ЛП  $\tilde{X}_i$ ), приращение каждого концепта  $X_i$  – ЛП  $\langle \Delta \tilde{X}_{ji}, T_{ji}^\Delta, D_{ji}^\Delta \rangle$ , веса влияний  $W = \{w_{ji}\}$  между каждой парой вершин в (1) – ЛП  $\langle \tilde{W}, T^w, D^w \rangle$ .

Пересчёт значений всех концептов (кроме концептов-дисциплин) осуществляется по формуле  $\tilde{X}_i(t+1) = \tilde{X}_i(t) \oplus \{ \bigoplus_j \tilde{f}_{ji}[\Delta \tilde{X}_j(t)] \}$ ,  $i, j = \overline{1, K_m + K + M + L}$ , где  $\tilde{X}_j, \Delta \tilde{X}_j$  – нечёткие множества, представляющие значения  $j$ -го концепта и приращения этого концепта, смежного с выходным концептом  $i$ ;  $\tilde{X}_i$  – нечёткое множество, представляющее значение выходного концепта;  $\tilde{f}_{ji}$  – нечёткий оператор, задающий нечёткое отображение типа «один вход–один выход»;  $t$  – номер шага моделирования;  $\oplus$  – операция нечёткой аккумуляции нескольких нечётких влияний на выходной концепт [8-11].

Значение результирующих концептов (значимость дисциплин)  $i = \overline{K_m + 1, K_m + 1 + K + M + L, Q}$  определяется на основе конечных значений концептов ( $j = \overline{1, K_m}$ ), соответствующих модулям дисциплин:  $\tilde{X}_i^{res} = \bigoplus_{j=1, 2, \dots, K_m} \tilde{f}_{ji}[\tilde{X}_j^{res}]$  [8].

На рисунке 1 представлен фрагмент орграфа ПО. Здесь для обозначения весов влияний между парами концептов используются лингвистические оценки: *низкая, средняя и высокая* – данные оценки определяются на основе опроса экспертов из числа профессорско-преподавательского состава, участвующих в разработке и реализации ПО.

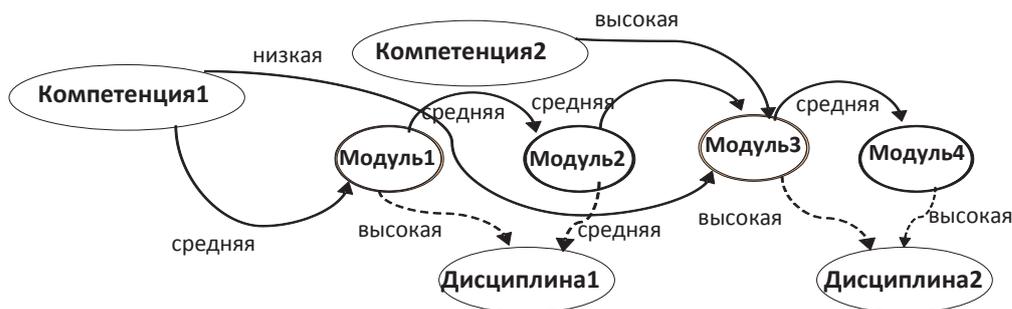


Рисунок 1 – Фрагмент орграфа ПО

Выбор когнитивной модели обусловлен следующими причинами.

- Возможность учёта связей между учебными модулями (как частями дисциплин), между компетенциями и модулями, между модулями и дисциплинами. Таким образом, концептами когнитивной карты в данном случае являются модули, компетенции и дисциплины.
- Возможность учёта силы влияния (выраженной лингвистической оценкой) между концептами когнитивной карты.

- Реализация причинно-следственных отношений между двумя концептами в виде набора нечётких правил позволяет более качественно «извлечь» знания эксперта, значительно упрощает работу экспертов.
- Возможность вычисления оценки значимости (степени участия) дисциплин для формирования каждой компетенции (если в моделировании участвует единственный концепт, соответствующий выбранной компетенции).
- Возможность учёта влияния дисциплин, участвующих в формировании выбранной компетенции не напрямую, а необходимых для изучения дисциплин, непосредственно формирующих заданные компетенции.

С помощью данной модели для заданного набора оценок ценности компетенций может быть определена значимость учебных модулей (разделов) и значимость дисциплин ПО, на основе которых могут быть выработаны рекомендации по корректировке ПО (включение/исключение дисциплин, увеличение/уменьшение интенсивности изучения дисциплин), например, с помощью нечётких продукций [12]. Для расчёта этих значений предлагается использовать когнитивную карту, включающую концепты, соответствующие факторам, позволяющим оценить значимость компетенций (группа вершин А).

Например, нечёткие продукции для корректировки интенсивности изучения дисциплины могут иметь вид:

ЕСЛИ  $HoursPlan = \langle \text{«Низкая»}$  И  $HoursP = \langle \text{«Низкая»}$  И  $\tilde{Z} = \langle \text{«Низкая»}$ , ТО  $HoursN = \langle \text{«Низкая»}$ ;

ЕСЛИ  $HoursPlan = \langle \text{«Низкая»}$  И  $HoursP = \langle \text{«Ниже средней»}$  И  $\tilde{Z} = \langle \text{«Средняя»}$ , ТО  $HoursN = \langle \text{«Низкая»}$ ;

ЕСЛИ  $HoursPlan = \langle \text{«Низкая»}$  И  $HoursP = \langle \text{«Ниже средней»}$  И  $\tilde{Z} = \langle \text{«Высокая»}$ , ТО  $HoursN = \langle \text{«Ниже Средней»}$ ;

где  $HoursPlan$  – ЛП «Интенсивность изучения дисциплины (число часов в неделю) согласно ПО»;  $HoursP$  – ЛП «Интенсивность изучения дисциплины согласно часам, заявленным преподавателем»;  $\tilde{Z}$  – «Значимость дисциплины»;  $HoursN$  – ЛП «Новая интенсивность изучения дисциплины». Для расчета итогового значения ЛП «Новая интенсивность изучения дисциплины» использовался алгоритм нечёткого логического вывода Мамдани, путём объединения «усечённых» функций принадлежности, полученных по каждому правилу, с последующим применением к итоговой функции операции дефаззификации.

Если в ходе анализа ПО какие-то дисциплины были исключены, то может возникнуть необходимость включения новых дисциплин. Эти дисциплины могут быть отобраны из числа дисциплин-претендентов в случае, когда дисциплина удовлетворяет следующим требованиям:

- в состав дисциплины входят модули, в ходе изучения которых либо формируются наиболее значимые компетенции, либо формируются новые значимые компетенции; значимость дисциплины-претендента должна быть достаточно высокой;
- трудоёмкость дисциплины в часах (минимальная) соответствует трудоёмкости одной из исключённых дисциплин, все дисциплины-родители для новой дисциплины изучены на момент её включения;
- принимается следующее допущение: в ходе анализа ПО количество дисциплин остаётся постоянным.

Итоговый список отобранных дисциплин следует проранжировать по значимости. Окончательное решение о выборе и включении дисциплины осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР). Алгоритм поддержки принятия решений при включении новых дисциплин представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Алгоритм поддержки принятия решений при включении новых дисциплин

Дисциплины, претендующие на исключение из ПО, должны иметь значимость ниже некоторого порогового значения; как правило, у таких дисциплин отсутствуют связанные с ни-

ми дисциплины-потомки, изучение которых базируется на знаниях, умениях и владениях, сформированных в ходе изучения исключаемых дисциплин.

Для расчёта значимости дисциплины-претендента, соответствующая дисциплина должна быть включена в когнитивную карту ПО. Исключаемая дисциплина заменяется одной из дисциплин-претендентов при условии выполнения изложенных выше условий.

## 2.2 Прогнозирование востребованности компетенций на основе анализа профессиональных стандартов

Одним из основных источников требований к профессиональным квалификациям работников при разработке ПО в настоящее время являются профессиональные стандарты [2, 13, 14]. Профессиональный стандарт (ПС) – «документ, раскрывающий с позиций объединений работодателей (и/или профессиональных сообществ) содержание профессиональной деятельности в рамках определённого вида экономической деятельности, а также требования к квалификации работников» [15]. При использовании ПС требуется разработка методик, позволяющих устанавливать соответствие между трудовыми компетенциями (функциями) и учебными компетенциями [2]. Выбор ПС для прогнозирования востребованности компетенций может быть произведён на основе перечня востребованных профессий и специальностей, соответствующих приоритетным направлениям развития экономики региона [1, 2].

В качестве модели компетенций может быть выбрана чёткая когнитивная карта [8, 16, 17]. Когнитивная модель имеет вид:  $\Phi = \langle G, Y, W \rangle$ , где  $G = \langle V, E \rangle$  – оргграф,  $V$  – множество вершин (концептов);  $V = \{V_i\} = \{P_j\} \cup \{K_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ;  $\{P_j\}$  – множество вершин, соответствующих возможным профессиям выпускников анализируемого направления подготовки;  $\{K_i\}$  – множество вершин, соответствующих компетенциям, формируемым в процессе обучения;  $E = \{e_{ij}\}$ ,  $i, j = \overline{1, N}$  – множество дуг, причём наличие связи между компетенциями  $i$  и  $j$  означает, что компетенция  $j$  необходима для формирования компетенции  $i$ . Вершины, соответствующие профессиям, связаны с компетенциями, необходимыми для осуществления профессиональной деятельности.

В когнитивной модели компетенций  $Y = \{Y^{V_i}\}$  ( $i = \overline{1, N}$ ) – множество параметров вершин  $V$  (значение вершин  $\{K_i\}$  – ценность компетенций; значение вершин  $\{P_j\}$  – экспертные оценки степени соответствия профессии анализируемому направлению подготовки).

Веса влияний  $W = \{w_{ji}\}$  ( $i, j = \overline{1, N}$ ) отражают силу связи между соответствующими вершинами ( $w_{ji} \in [0; 1]$ ). Веса влияний между вершиной-профессией и вершиной-компетенцией могут быть получены следующим образом. Пусть некоторый ПС включает набор трудовых компетенций  $PS = \bigcup_{l=1, U} TK_l$ ,  $U$  – количество трудовых компетенций. Допустим, определено соответствие между трудовыми и учебными (профессиональными, общекультурными и общепрофессиональными) компетенциями. Пусть  $t_i$  ( $i = \overline{1, K + M + L}$ ) – число обращений к  $i$ -й учебной компетенции, тогда оценки

$\left( \frac{t_1}{\max_{i=1, K+M+L}(t_i)}, \frac{t_2}{\max_{i=1, K+M+L}(t_i)}, \dots, \frac{t_{K+M+L}}{\max_{i=1, K+M+L}(t_i)} \right)$  можно рассматривать как значимость учебных

компетенций в соответствии с выбранным ПС и использовать их как веса влияний между вершиной-профессией и вершинами-компетенциями.

Задавая начальные значения вершин, соответствующих востребованным в прогнозируемый период профессиям, можно рассчитать значения целевых вершин, соответствующих компетенциям. Правило, по которому происходит расчёт значений вершин, имеет вид:

$$Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^N w_{ji} \cdot p_j(t), \text{ где } p_j(t) = Y_j(t) - Y_j(t-1) \text{ – величина изменения } j\text{-й вершины}$$

на шаге моделирования  $t$ . Полученные значения ценности учебных компетенций могут быть использованы в качестве начальных значений вершин-компетенций в когнитивной модели ПО. Для практического использования полученных с помощью построенной когнитивной модели оценок ценности компетенций следует выполнить их нормирование [18].

### **3 Практическое применение**

На основе предложенного подхода был проведён анализ ПО бакалавров по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика» на соответствие требованиям ПС в области ИТ [19]. Если когнитивную карту компетенций построить только на основе требований одного ПС, то на основе полученных оценок ценности компетенций с помощью когнитивной карты ПО можно определить ценность дисциплин для соответствующей профессии. Как показал анализ, ПО рассматриваемого направления подготовки в большей степени соответствует требованиям ПС «Программист» и «Системный программист», т.к. для ПО данных профессий значимость дисциплин оказалась выше, и ПО требует меньших изменений по сравнению с другими профессиями. Для выработки рекомендаций по корректировке ПО на основе требований нескольких ПС были определены наиболее востребованные по прогнозам экспертов профессии, а затем и значимость компетенций с помощью когнитивной карты, представленной в п.2.2. Были выработаны рекомендации к корректировке ПО, в результате анализа оказалось, что отсутствуют дисциплины, которые следует исключить, и необходимо только увеличение или уменьшение интенсивности изучения некоторых дисциплин. Полученные рекомендации согласуются с экспертными оценками необходимых изменений ПО для её адаптации к требованиям к квалификации работников выбранных профессий.

### **Заключение**

Применение когнитивного моделирования позволяет увеличить объективность результатов прогнозирования востребованности компетенций по сравнению с традиционным привлечением к решению данной задачи групп экспертов. Использование наряду с результатами экспертных опросов различных количественных факторов делает полученные прогнозы более обоснованными, а также позволяет снизить трудоёмкость решения рассматриваемой задачи.

Полученные результаты показывают, что решение задачи прогнозирования востребованности компетенций с учётом факторов, влияющих на востребованность компетенций, в том числе с применением ПС, и последующей корректировкой ПО выполнимо. Недостаточно проработанной остаётся унификация моделей, позволяющих учесть разнородные привлекаемые знания (понятийные структуры), что является приоритетным направлением дальнейших исследований. Использование унифицированных онтологических моделей в совокупности с процедурами их реализации в компьютерных системах открывают новые перспективы решения задач управления в образовательной сфере.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Кекконен, А.Л.** Качественные характеристики в количественных прогнозах рынка труда / А.Л. Кекконен, С.В. Сигова // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сб. докладов девятой Всероссийской научно-практической Интернет-конференции, Книга I. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. – С.154-164.
- [2] **Кутейницына, Т.Г.** Методы прогнозирования качества рабочей силы: зарубежный опыт и российская практика / Т.Г. Кутейницына // Профессиональное образование и рынок труда. – 2016. – № 3. – С.10–15.
- [3] **Судаков, Д.** Руководство по применению технологического форсайта для определения будущих потребностей в компетенциях / Д. Судаков, П. Лукша, О. Стриецка-Ильина, Кон Грегг, К. Хофман, Л. Хачатрян. – Международное бюро труда. – Женева: МОТ, 2016.
- [4] **Смирнов, С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2012. – №2(4). – С.16–25.
- [5] **Исмиханов, З.Н.** Моделирование социально-экономического развития региона на основе когнитивного подхода (на примере республики Дагестан) / З.Н. Исмиханов // Бизнес-информатика. – 2015. – №2(32). – С. 59-68.
- [6] Перечень востребованных профессий и специальностей, соответствующих приоритетным направлениям развития экономики Республики Татарстан. – <http://mtsz.tatarstan.ru/perechen-vostrebovannih-professiy-i.htm/>.
- [7] Атлас новых профессий. – <http://atlas100.ru/>.
- [8] **Асанов, А.З.** Алгоритм выбора программ повышения квалификации и переобучения соискателей вакансий на основе когнитивных моделей / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина, Л.З. Гумерова // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – №4 (131). – С.21–30.
- [9] **Борисов, В.В.** Нечёткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
- [10] **Carvalho, J.P.** Rule-based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps – a comparative study / J.P. Carvalho, J. A. Tomè // In Proc. of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'99 : New York, 1999. – P.115-119.
- [11] **Carvalho, J.P.** Fuzzy Mechanisms for Causal Relations / J.P. Carvalho, J. A. Tomè // In Proceedings of the 8th International Fuzzy Systems Association World Congress. – IFSA: Taiwan, 1999. – P.1009-1013.
- [12] **Асанов, А.З.** Алгоритм оценки объемов дополнительного обучения сотрудников на основе аппарата нечеткой логики / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина // Качество. Инновации. Образование. – 2010. – № 12. – С. 43–51.
- [13] **Волошина, И.А.** Рекомендации по учёту требований работодателей к профессиональным квалификациям работников при разработке профессиональных образовательных программ / И.А. Волошина, Е.Ю. Есенина, П.Н. Новиков, О.Д. Прянишникова. – М.: Национальное агентство развития квалификаций, 2010.
- [14] **Гузаиров, М.Б.** Информационное и математическое обеспечение в системе поддержки принятия решений при управлении процессом разработки образовательной программы / М.Б. Гузаиров, Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина. – М.: Машиностроение, 2011.
- [15] **Блинов, В.И.** Словарь-справочник современного российского профессионального образования. Выпуск 1 / В.И. Блинов, И.А. Волошина, Е.Ю. Есенина, А.Н. Лейбович, Н.П. Новиков. – М.: ФИРО, 2010.
- [16] **Асанов, А.З.** Когнитивное моделирование в задаче оценки соответствия соискателя вакансий квалификационным требованиям / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – №12. – С.29–34.
- [17] **Asanov, A.Z.** Evaluation and selection of personnel based on clear and fuzzy cognitive models / A.Z. Asanov, I.Yu. Myshkina, L.Yu. Grudtsyina // International Journal of Soft Computing. – 2015. – №10. – С.448-453.
- [18] **Пегат, А.** Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
- [19] Профессиональные стандарты в области ИТ. – <http://www.apkit.ru/committees/education/meetings/standarts.php>.

## FORECASTING COMPETENCE REQUIREMENTS FOR TRAINING PROGRAMS ADJUSTMENT WITH THE HELP OF COGNITIVE MODELS

A.Z. Asanov<sup>1</sup>, I.Yu. Myshkina<sup>2,a</sup>, L.Yu. Grudtsyna<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cybernetics of MIREA-Russian Technological University, Moscow, Russia  
asanov@mirea.ru

<sup>2</sup> NaberezhnyeChelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia  
<sup>a</sup>mirinau@mail.ru, <sup>b</sup>larisa\_u\_g@mail.ru

### Abstract

The article explores the possibility of using cognitive models to predict the demand for competencies. The cognitive modeling possibilities in solving the forecasting competencies are distinguished. The main studying objectives: the factors choice to affect the demand for competencies, the choice of cognitive model type, studying the possibility of professional standards applying in the cognitive model construction. It also considers the possibility of taking into account the obtained estimates of the “future” value competencies in the curriculum adjusting at the university, using the cognitive model curriculum. The novelty of the proposed approach to forecasting the demand for competencies using cognitive maps lies in the fact that the cognitive models usage allows to practice a large number of heterogeneous qualitative and quantitative factors in solving the problem: data on sought-after and forecasting occupations, the expert surveys results, data on promising scientific directions, data on the subject and number of scientific publications, etc., as well as successive links between competencies, reflecting the stage their formation. The results are applied when adjusting the bachelor’s program.

**Key words:** competence, demand forecasting, cognitive model, training program.

**Citation:** Asanov AZ, Myshkina IY, Grudtsyna LY. Forecasting competence requirements for training programs adjustment with the help of cognitive models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 203-213. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-203-213.

### References

- [1] **Kekkonen AL, Sigova SV.** Qualitative characteristics in quantitative forecasts of the labor market [In Russian]. Supply and demand on the labor market and the market of educational services in the regions of Russia: Sat. reports of the Ninth All-Russian Scientific and Practical Internet Conference, Book I. - Petrozavodsk: Publishing House of PetrSU; 2012: 154-164.
- [2] **Kuteinitsina TG.** Methods to forecasting the quality of the labour force: foreign experience and Russian practice [In Russian]. Vocational education and labor market; 2016; 3: 10–15.
- [3] **Sudakov D, Luksha P, Strietsk-Ilyina O, Gregg Kohn, Hofman K, Khachatryan L.** A Guide to the use of technological foresight for determining future competency needs [In Russian]. International Labor Office. - Geneva: ILO; 2016.
- [4] **Smirnov SV.** Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of designing*. –2012; 2(4): 16–25.
- [5] **Ismihanov ZN.** Modeling of the regional social and economic development on the basis of a cognitive approach (on materials of the Republic of Dagestan) [In Russian]. *Business Informatics*; 2015; 2 (32): 59-68.
- [6] The list of popular professions and specialties corresponding to the priority directions of economic development of the Republic of Tatarstan [In Russian]. - <http://mtsz.tatarstan.ru/perechen-vostrebovannih-professiy-i.htm/>.
- [7] Atlas of new professions. - <http://atlas100.ru/>.
- [8] **Asanov AZ, Myshkina IY, Gumerova LZ.** The algorithm of programs’ choice of the candidate’s professional development and retraining of researchers’ vacancies based on cognitive models [In Russian]. *Quality. Innovation. Education*; 2016; 4 (131): 21–30.
- [9] **Borisov VV, Kruglov VV, Fedulov AS.** Fuzzy models and networks [In Russian]. - Moscow: Telecom Hotline; 2007.
- [10] **Carvalho JP, Tomè JA.** Rule – based fuzzy maps and fuzzy maps — a comparative study. In Proc. of the 18th International Fuzzy Information Processing Society; NAFIPS’99: New York; 1999: 115-119.
- [11] **Carvalho JP, Tomè JA.** Fuzzy Mechanisms for Causal Relations. In Proceedings of the 8th International Fuzzy Systems Association World Congress; IFSA: Taiwan; 1999: 1009-1013.

- [12] *Asanov AZ, Myshkina IY*. The algorithm of the estimation of volumes of additional training of employees on the basis of the device of fuzzy logic [In Russian]. Quality.Innovation. Education; 2010; 12: 43–51.
- [13] *Voloshina IA, Yesenina EY, Novikov PN, Pryanishnikova OD*. Recommendations on taking into account the requirements of employers to the professional qualifications of workers in the development of professional educational programs [In Russian]. - Moscow: National Qualifications Development Agency; 2010.
- [14] *Guzairov MB, Yusupova NI, Smetanina ON*. Information and software in the decision support system for managing the development of an educational program [In Russian]. - Moscow: Mechanical Engineering; 2011.
- [15] *Blinov VI, Voloshina IA, Yesenina EY, Leybovich AN, Novikov PN*. Dictionary-reference book of modern Russian professional education; Issue 1 [In Russian]. - Moscow: FIRO; 2010.
- [16] *Asanov AZ, Myshkina IY*. Cognitive modeling in the problem of evaluation of the candidate's correspondence to the qualifying requirements [In Russian]. Bulletin of computer and information technology; 2012; 12: 29–34.
- [17] *Asanov AZ, Myshkina IY, Grudtsyna LY*. Selection of personnel based on clear and fuzzy cognitive models. International Journal of Soft Computing; 2015; 10: 448-453.
- [18] *Pegat A*. Fuzzy modeling and control [In Russian]. - Moscow: BINOM. KnowledgeLaboratory; 2009.
- [19] Professional IT standards [In Russian]. - <http://www.apkit.ru/committees/education/meetings/standarts.php>.

### Сведения об авторах



*Асанов Асхат Замилович*, 1949 г. рождения. Окончил Казанский государственный университет в 1972 г., д.т.н. (2004), профессор. Заведующий кафедрой автоматических систем Института кибернетики МИРЭА–Российского технологического университета. В списке научных трудов более 250 работ в области системного анализа, управления и обработки информации.

*Askhat Zamilovich Asanov* (b. 1949) graduated from Kazan State University in 1972, D. Sc. Eng. (2004), Professor. He is Head of Automatic Systems Department in the Institute of Cybernetics of MIREA-Russian Technological University. He is the author and co-author of more than 250 publications in the field of system analysis, control and information processing.



*Мышкина Ирина Юрьевна*, 1980 г. рождения. Окончила Елабужский государственный педагогический институт в 2002 г., к.т.н. (2018). Доцент кафедры системного анализа и информатики Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета. В списке научных трудов более 30 работ в области управления в социальных и экономических системах.

*Irina Yurievna Myshkina* (b. 1980) graduated from Elabuga State Pedagogical Institute in 2002, Ph.D. (2018). Associate Professor of the Department of Systems Analysis and Informatics of the NaberezhnyeChelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University. In the list of scientific papers more than 30 works in the field of management in social and economic systems.



*Грудцына Лариса Юрьевна*, 1980 г. рождения. Окончила Елабужский государственный педагогический институт в 2002 г. . Старший преподаватель кафедры системного анализа и информатики Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета. В списке научных трудов более 20 работ в области управления в социальных и экономических системах.

*Larisa Yurievna Grudtsyna* (b. 1980) graduated from Elabuga State Pedagogical Institute in 2002. Senior Lecturer at the Department of System Analysis and Informatics of the NaberezhnyeChelny Institute (branch) of Kazan (Volga Region) Federal University. In the list of scientific papers more than 20 works in the field of management in social and economic systems.

УДК 519.711.3

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЁТА РЕЙТИНГА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ОНТОЛОГИИ

С.С. Сосинская<sup>а</sup>, Р.С. Дорофеев<sup>б</sup>, А.С. Дорофеев<sup>с</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

<sup>а</sup>sosinskaya@mail.ru, <sup>б</sup>rdobermann@list.ru, <sup>с</sup>dorbaik@istu.edu

### Аннотация

Реформа образования, происходящая в России, затронула не только его ступени и набор изучаемых предметов, но и потребовала от преподавателей большей актуализации и интенсификации собственной деятельности. Оценка деятельности сотрудников помогает определить эффективность выполнения той или иной работы, позволяет установить соответствие показателей необходимым требованиям. В статье предлагается совместное применение квалиметрического подхода и онтологии для определения рейтинга преподавателей. С этой целью было разработано клиентское приложение с базой данных на сервере MSSQL, предназначенное для накопления информации, необходимой для расчёта рейтинга, и расчёта интегральной оценки качества работы преподавателя на основе значений показателей и весов. База данных преобразуется в онтологию в редакторе FLUENT с помощью программного средства ANTLR. Онтология, содержащая классы (институты, кафедры, преподаватели, группы показателей, интегральные характеристики преподавателей и др.), их атрибуты и отношения, позволяет выполнять различные запросы к базе данных. Предлагаемый подход, впервые сочетающий использование упомянутых программных продуктов, позволит более объективно оценивать деятельность преподавателя, стимулировать его к повышению эффективности работы.

**Ключевые слова:** квалиметрический подход, онтология, оценка качества, база данных, преподаватель, рейтинг, редактор FLUENT, ANTLR.

**Цитирование:** Сосинская, С.С. Разработка системы для расчёта рейтинга преподавателей на основе квалиметрического подхода и онтологии / С.С. Сосинская, Р.С. Дорофеев, А.С. Дорофеев // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). - С.214-224. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-214-224.

### Введение

В настоящее время в связи с реформированием образования в России происходит не только перестройка учебных планов в соответствии с различными его ступенями и компетенциями, но и изменение требований к профессорско-преподавательскому составу (ППС) в части оценки их деятельности. Предлагается и применяется методика оценки качества деятельности ППС, в которой за каждый показатель выполненных работ преподаватель получает баллы. Стоимость каждого такого балла исчисляется в рублёвом эквиваленте и непосредственно влияет на заработную плату преподавателя. Данная методика содержит такой элемент, как вес каждого показателя. Так, например, проведение межвузовских олимпиад регионального уровня, требующее больших временных, психологических затрат (составление заданий различной сложности, развёртывание системы автоматической проверки исходного кода на различных языках и мониторинга рейтинга, общение с представителями других ВУЗов) в балльном эквиваленте ниже, чем, например, написание небольшой статьи. В связи с этим можно утверждать о наличии трудностей в оценке работы, поскольку должным образом не учитываются важные атрибуты (трудоемкость, потребные ресурсы и пр.). Использование

квалиметрического подхода позволяет избавиться от этого недостатка, а совместное использование базы данных (БД) и онтологии позволит функционально отделить накопление информации и расчёт различных характеристик от выполнения запросов. Так как процесс преобразования БД в онтологию должен повторяться неоднократно при появлении новой информации в БД, целесообразно автоматизировать этот процесс, например, с помощью программного средства для создания компиляторов ANTLR [1].

## 1 Основы расчёта рейтинга преподавателя в университете

Советом университета выделяются группы показателей образовательной, научной, иных видов деятельности (такие как издательская и методическая деятельность, учебная деятельность, публикационная активность, цитируемость публикаций), в каждой группе определены показатели и их весомость в баллах [2].

В настоящее время в университете ежемесячно в течение учебного года собираются показатели результативности для преподавателей кафедр. Эта информация загружается в БД университета и отображается на сайте. При выполнении показателя коллективом авторов баллы делятся пропорционально числу авторов от университета независимо от вклада каждого автора. Для подсчёта суммарного балла применяется формула, закреплённая в положении о рейтинге:

$$SUMBALL = \sum_{i=1}^n P_i C_i, \text{ где}$$

$n$  - число показателей преподавателя;

$P_i$  - число баллов за данный показатель;

$C_i$  - количество экземпляров показателя (число статей и т.д.).

Для каждой должности советом университета назначается плановое значение (PZ) суммы баллов. Преподаватели, набравшие менее 50% PZ не получают стимулирующей выплаты. При значениях PZ в диапазоне от 50% до 100% включительно преподаватели получают стимулирующую выплату. Преподавателям, перевыполнившим установленное PZ, назначается премиальная выплата [2].

Механизм денежного стимулирования деятельности преподавателя, базирующийся на оценке его личного вклада, служит для установления непосредственной зависимости между размером денежного поощрения и результатами труда преподавателя. Системный подход к мотивации деятельности преподавателя ВУЗа позволяет декомпозировать алгоритм расчёта выплат, установить взаимосвязь между размером вознаграждения и реальными трудовыми затратами, определить личный вклад каждого преподавателя и применить соответствующие денежные поощрения за результаты работы.

Квалиметрия является наукой о количественной оценке качества объекта, подлежащего оцениванию и описываемого набором признаков, в виде расчётной модели. Эта модель представляет собой описание признаков объекта, имеющих определённые оценки их важности (веса). Введённые показатели пересчитываются к квалиметрической шкале в  $[0,1]$ :

$$k_s = \frac{val_s - ng}{vg - ng}, \text{ где}$$

$k_s$  – пересчитанное к квалиметрической шкале значение показателя,  $s=1...n$ ;  $n$  – количество признаков,  $val_s$  – значение показателя,  $vg$  – верхняя граница показателя,  $ng$  – нижняя граница показателя.

По значениям показателей при имеющихся весах рассчитываются интегральные характеристики  $Q$  и  $DeltaQ$ , где  $Q$  – количественное значение соответствия качества объекта предъявляемым требованиям,  $DeltaQ$  – количественное значение отклонения объекта от требований [3-7]. В результате рассчитывается итоговый интегральный показатель в диапазоне от 0 до 1.

## 2 Структура БД

Для решения задачи оценки рейтинга преподавателя выделены основные сущности и их атрибуты (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Сущности БД и их атрибуты

Название сущности	Атрибуты сущности	Обозначения атрибутов в структуре БД
Институт (institute)	название института	has_name
Подразделение института (subdivision)	название подразделения, название института	has_name, institute_idinstitute
Сотрудник (employee)	ФИО, должность, название подразделения, плановый показатель должности	has_name, has_position, subdivision_idSubDiv, plan_pos_idPlan
Группа показателей (grp)	Название группы	has_name
Показатель (attribute)	имя показателя, имя группы, вес показателя	has_name, grp_idGrp, has_weight
Плановый показатель (plan_pos)	должность, предел баллов	position, has_plan
Временной период (time_period)	Начало периода, конец периода	has_begin, has_finish
Показатель сотрудника (employee_attribute)	ФИО сотрудника, временной период, название показателя, количество	employee_idEEmployee, timeperiod_idtimeperiod, attribute_idattribute, has_count
Интегральные характеристики сотрудника (integral_employee)	ФИО сотрудника, временной период, число баллов по традиционной методике, интегральная квалиметрическая характеристика	employee_idEEmployee, timeperiod_idtimeperiod, has-integralreit, has-integralkv,

Основные группы показателей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные группы показателей и входящие в них показатели

Группа показателей	Показатель
Издательская и методическая деятельность	Издание учебника с грифом Министерства науки и высшего образования по дисциплинам учебных планов ИРНИТУ
	Издание учебного пособия с грифом Министерства науки и высшего образования по дисциплинам учебных планов ИРНИТУ
	Издание учебного пособия по дисциплинам учебных планов ИРНИТУ
	Издание лабораторного практикума / пособия по выполнению практических работ и других видов учебных изданий по дисциплинам учебных планов ИРНИТУ
Учебная деятельность	Научное руководство студенческой проектной командой
	Получение ученого звания
	Работа в качестве трекера студенческой проектной команды
Развитие электронных, дистанционных ресурсов	Разработка электронных образовательных ресурсов по дисциплинам учебных планов ИРНИТУ
	Организация обучения по созданным электронным образовательным ресурсам
Публикационная активность	Публикация статьи в рецензируемых журналах, входящих в наукометрические системы Web of Science,
	Публикация статьи в рецензируемых журналах, входящих в наукометрические системы Scopus
	Публикация статьи в рецензируемых журналах ВАК
	Публикация монографии
Цитируемость публикаций	Количество цитирований Scopus
	Количество цитирований Web of Science

Весы показателей назначаются пользователями системы по разработанным ими критериям и могут быть изменены в ходе её эксплуатации.

После выделения сущностей производится нормализация БД, то есть выполнение ряда действий над сущностями, которые обеспечивают устранение избыточности за счёт их декомпозиции таким образом, чтобы в каждой сущности хранились только первичные факты. Структура БД описана с помощью средства визуального проектирования DbDesigner [8] и представлена на рисунке 1.

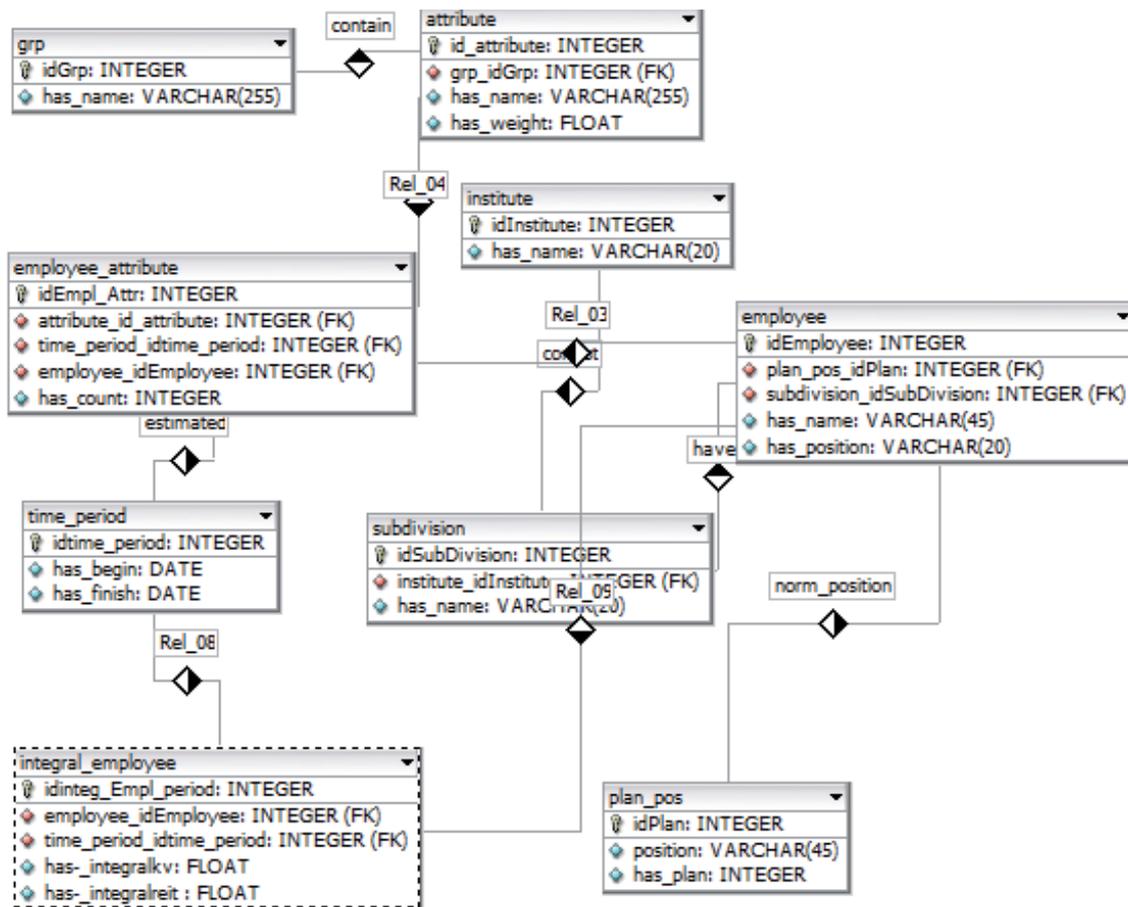


Рисунок 1–Структура БД

### 3 Структура системы

Структура разработанной системы расчёта рейтинга преподавателей представлена на рисунке 2. С помощью DbDesigner создан скрипт, содержащий операторы CREATE TABLE языка SQL. При запуске этого скрипта на сервере MSSQL создана БД *kval*, перечень таблиц которой показан на рисунке 3, где их имена совпадают с именами сущностей, приведённых в таблице 1.

После создания БД разработано клиентское приложение для корректировки таблиц и вычисления интегральных характеристик. В результате работы приложения БД наполнена записями и сформирован скрипт, содержащий операторы языка SQL CREATE TABLE (для добавления таблиц) и INSERT INTO (для добавления записей в таблицы).

С использованием этого скрипта формируется (или корректируется) онтология, классы которой соответствуют таблицам БД, а атрибуты и отношения – атрибутам таблиц. Таким

образом БД трансформируется в базу знаний (БЗ). Переход от описания на языке SQL к описанию на контролируемом языке CNL (от англ. Controlled Natural Language), используемом в редакторе онтологий FLUENT, можно выполнять вручную. Так как корректировка БД и онтологии, которые должны быть синхронизированы, может происходить многократно, выполнение этой процедуры осуществляется автоматизированно с помощью ANTLR [9].

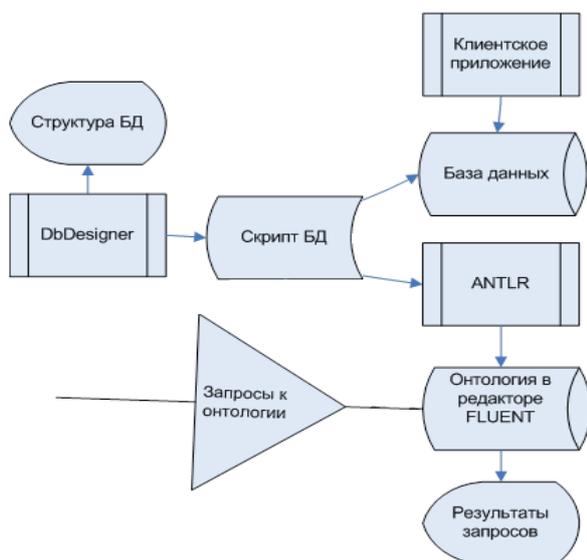


Рисунок 2 – Структура разработанной системы

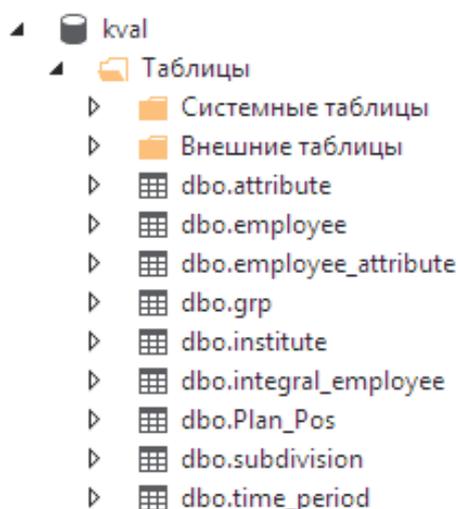


Рисунок 3 – Перечень таблиц БД на сервере

#### 4 Приложение для наполнения БД

На рисунке 4 показана главная форма приложения БД для пользователя из отдела, отвечающего за поддержку БД в актуальном состоянии. Просмотр и корректировка данных осуществляется через пункт меню «Просмотр». На рисунках 5 и 6 показаны формы просмотра институтов и сотрудников с возможностью выполнения всех видов корректировки.

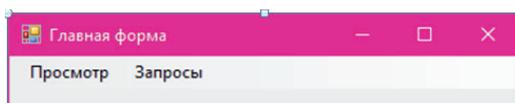


Рисунок 4 – Главное окно приложения БД

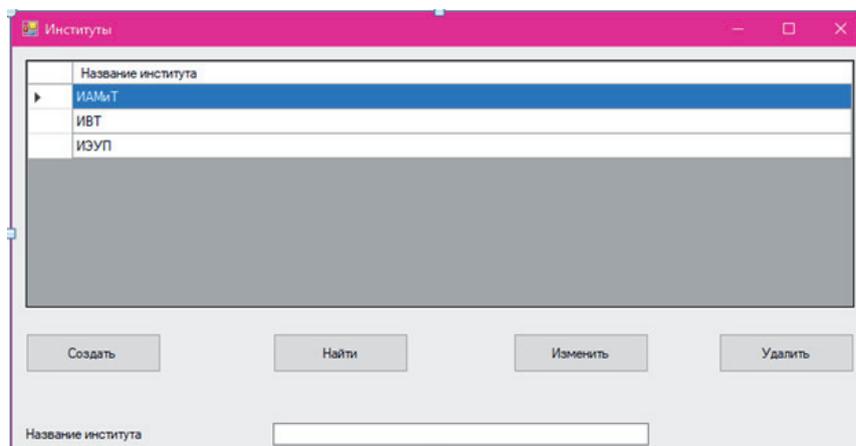


Рисунок 5– Окно просмотра и корректировки институтов

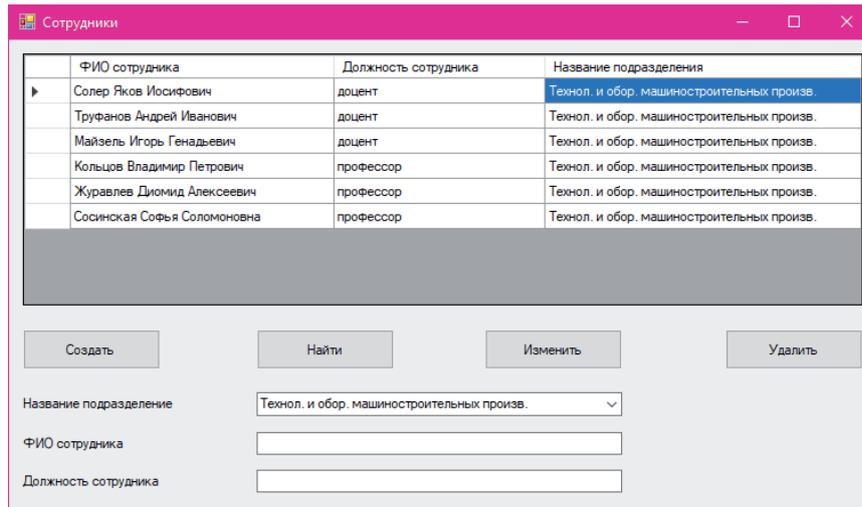


Рисунок 6 – Окно просмотра и корректировки сотрудников

С помощью пункта меню *Запросы* производится вычисление интегральных квалиметрических характеристик.

В процессе эксплуатации приложения БД были выявлены следующие недостатки:

- результатом запроса к БД является информация, хранящаяся в самой БД, нет возможности найти данные, которые можно получить как результат логического вывода, что можно сделать, используя онтологию;
- при использовании БД трудно моделировать сложные связи в отличие от онтологического подхода.

Преодолеть названные недостатки приложения позволяет онтология, являющаяся современной формой представления знаний и позволяющая производить автоматизированную обработку семантики информации [10, 11].

## 5 Использование инструмента ANTLR для трансформации БД в БЗ в онтологическом редакторе FLUENT

ANTLR (от ANother Tool for Language Recognition – Инструмент для Распознавания Языков) – это инструмент для создания компиляторов или интерпретаторов языков программирования [12, 13]. ANTLR используется для трансформации БД MSSQL в БЗ. ANTLR позволяет при наличии описания по определенным правилам грамматики входного языка (в данном случае - подмножества SQL) автоматически создать основные блоки компилятора с этого языка, а также генерацию кода программы на выходном языке (в данном случае CNL). С этой целью генерируются классы *Lexer*, *Parser* и *Emitter*, которые включаются в состав программы на языке C#. С помощью этой программы могут многократно обрабатываться скрипты на языке SQL. В грамматику для ANTLR включаются лексические, синтаксические правила и семантические атрибуты (*attributes*), а также семантические действия (*actions*), позволяющие сгенерировать код программы на языке C#.

Фрагмент описания грамматики языка – подмножества MSSQL средствами ANTLR – показан на рисунке 7. В правом окне перечисляются правила для лексических и синтаксических конструкций языка, в левом окне формируются имена конструкций.



Рисунок 7– Фрагмент грамматики подмножества языка MSSQL в ANTLR

## 6 Онтология в редакторе FLUENT и запросы к ней

Онтология — целостная структурная спецификация некоторой предметной области (ПрО), её формализованное представление, которое включает словарь терминов ПрО и множество логических связей (типа «элемент-класс», «часть-целое»), которые описывают, как эти термины соотносятся между собой. Основные элементы онтологии:

- классы, которые описывают понятия ПрО;
- атрибуты описывают свойства классов и их экземпляров;
- экземпляры (объекты) содержат конкретные значения атрибутов;
- отношение – это вид атрибута, определяющий зависимости между классами.

FLUENT Editor [14, 15] – это многофункциональное и интуитивно понятное приложение, которое позволяет редактировать онтологии, визуализировать связи между понятиями и их экземплярами и выполнять запросы к БЗ на основе логического вывода. Используется язык представления знаний, что позволяет писать точные, формализованные описания различных ПрО. Естественно-языковое описание является главным отличием FLUENT Editor от других онтологических редакторов и позволяет освоить создание онтологий гораздо более широкой группе пользователей.

Для рассматриваемой ПрО онтология содержит классы, соответствующие таблицам БД (институты, кафедры, преподаватели и т.д.), а их атрибуты и отношения – это атрибуты таблиц. Фрагмент онтологии, сгенерированной с помощью ANTLR, приведён на рисунке 8

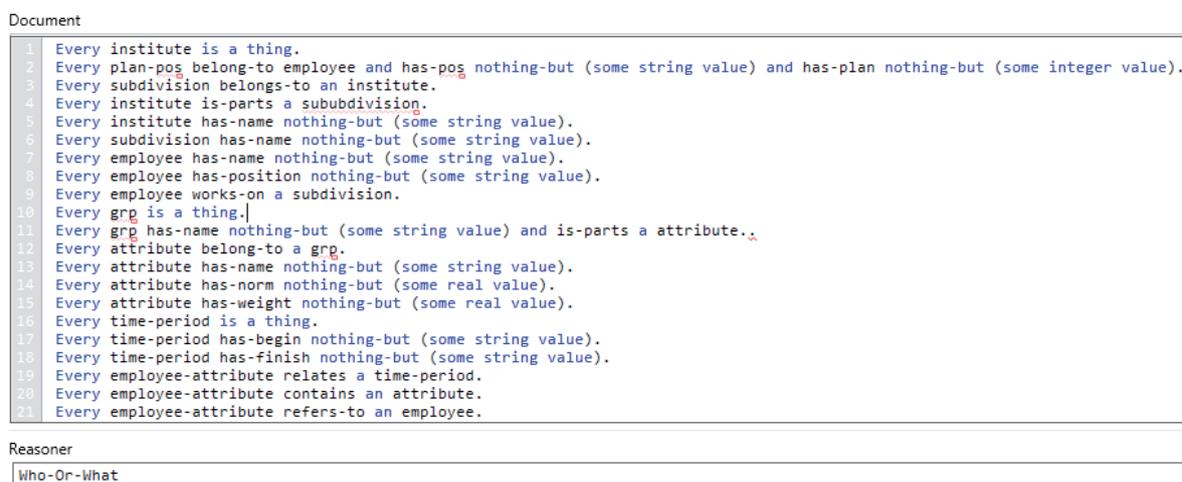


Рисунок 8– Фрагмент онтологии в редакторе FLUENT

Предложения вида *Every institute is a thing* определяет классы, находящиеся на верхнем уровне иерархии (имена классов начинаются с малой латинской буквы). Атрибуты классов определяются предложениями вида *Every institute has-name nothing-but (some string value)*. Отношения между классами определяются предложениями вида *Every employee works-on a subdivision*. Экземпляры классов определяются предложениями вида *Insta is an institute and has-name equal-to 'КИБЕРНЕТИКИ'*, а имена объектов начинаются с заглавной латинской буквы. В созданной онтологии есть несколько правил вида *X has-integral-employee Y if-and-only-if Y belong-to X*. Каждое из них показывает какое отношение в прямом направлении связано с другим отношением в обратном направлении [15]. Имена таблиц БД, соответствующих им классов, атрибутов, объектов и отношений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Имена таблиц, классов, объектов, атрибутов и отношений

Таблица	Класс	Объекты	Атрибуты	Отношения
institute	institute	Insta, Instb, ...	has-name	is-parts
subdivision	subdivision	Suba, Subb, ...	has-name	belong-to
grp	grp	Grpa, Grpb, ...	has-name	is-parts
attribute	attribute	Attra, Attrb, ...	has-name. has-weight	belong-to
Plan_Pos	plan-pos	Ppa, Ppb, ...	has-pos, has-plan	belong-to
employee	employee	Empa, Empb, ...	has-name, has-position	works-on
employee-attribute	employee-attribute	Eaa, Eab, ...	has-count	relates, contains, refers
time-period	time-period	Tpa, Tpb, ...	has-begin, has-finish	
integral-employee	integral-employee	Iea, Ieb, ...	has-integralkv, has-integralreit	belong-to, relates

На основании описания онтологии редактор FLUENT формирует иерархию классов, их экземпляров, атрибутов и отношений, показанную на рисунке 9.

Построенный граф связей между классами, их экземплярами и отношениями представлен на рисунке 10.

Запросы к онтологии набираются в окне *Reasoner* вручную пользователем. При создании запросов используется CNL [15]. Результат запроса можно увидеть на экране и скопировать в таблицу *Excel*. Примеры запросов.

*Запрос 1.* Какие преподаватели имеют интегральную квалиметрическую характеристику, равную 10?

Who-Or-What is employee that has-integral-employee that has-integralkv equal-to 10.0?

Результат:

Преподаватель	Подразделение	Должность	ФИО
Empa	Suba	профессор	Солер
Empb	Subb	доцент	Зарак

*Запрос 2.* Какие подразделения относятся к институту кибернетики?

Who-Or-What is subdivision that belong-to institute that has-name equal-to 'КИБЕРНЕТИКИ'?

Результат:

Институт	Подразделение	Название
Insta	Subd	АСУ
Insta	Subc	ВТ

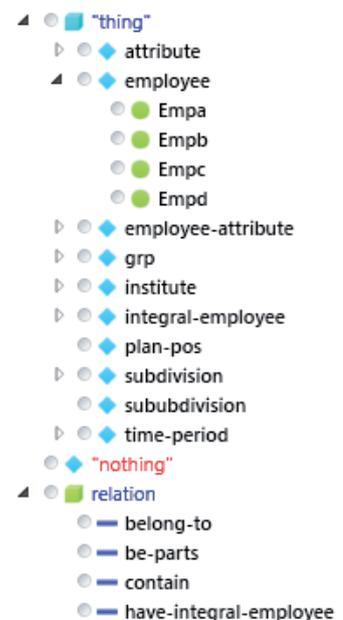


Рисунок 9 – Дерево иерархии в редакторе FLUENT

Запрос 3. Каковы интегральные характеристики преподавателя Солер?  
 Who-Or-What is employee that has-name equal-to 'Солер' and has-integral-employee?  
 Результат:

ФИО	Должность
Солер	профессор

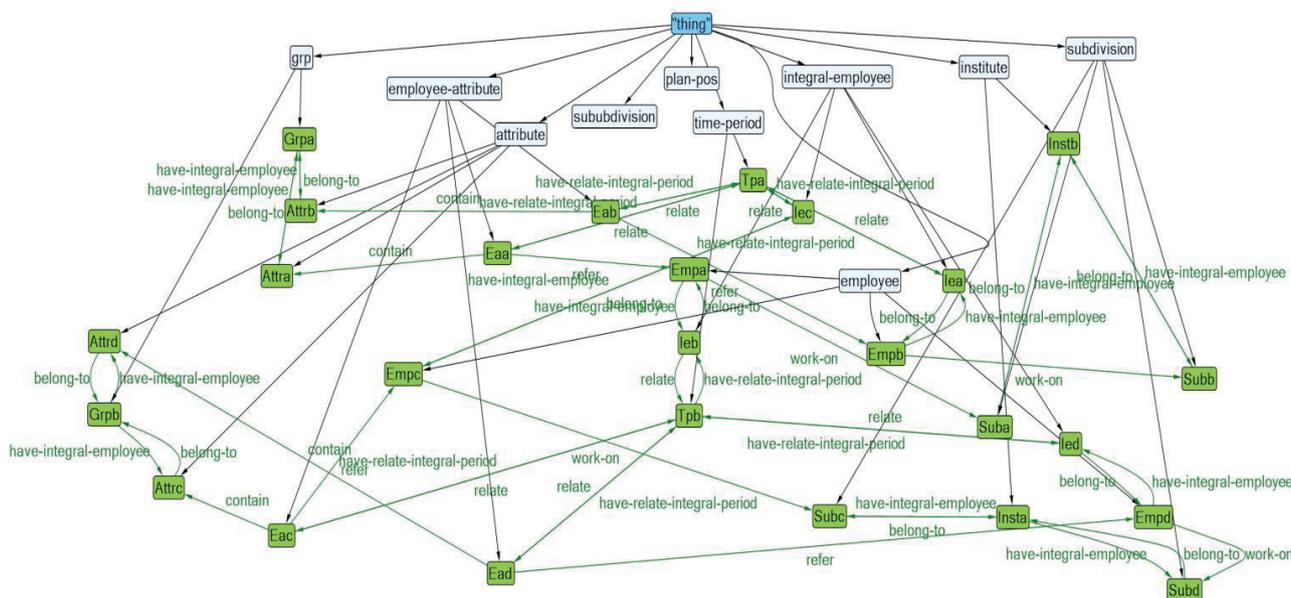


Рисунок 10 – Граф связей между классами в редакторе FLUENT

## Заключение

Предложенный в статье подход позволит оценивать качество работы преподавателей путём расчёта итоговых интегральных характеристик по всем показателям с учётом весов каждого в зависимости от реальных трудозатрат. Применение ANTLR даёт возможность автоматизировано трансформировать БД в онтологию. Используемый онтологический подход помогает детально и наглядно представить все элементы, применяемые при оценке качества, а FLUENT, используемый в качестве инструмента для выполнения запросов, позволяет выполнить необходимые запросы.

## Список источников

- [1] **Tomassetti, G.** The ANTLR Mega Tutorial / G. Tomassetti // in ANTLR, Language Engineering, Parsing. – <https://tomassetti.me/antlr-mega-tutorial/>.
- [2] СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. Регламент управления системой эффективного контракта научно-педагогических работников. - Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2018. – 21 с. - <http://www.istu.edu/local/modules/doc/download/45756>.
- [3] **Азгальдов, Г.Г.** Квалиметрическая экспертиза. Руководство по организации экспертизы и выполнению квалиметрических расчетов. Книга первая. Организация экспертизы / Г.Г. Азгальдов, В.М. Маругин // СПб., М.: Русский Регистр, 2002. – 517 с.
- [4] **Азгальдов, Г.Г.** Квалиметрия для инженеров-механиков / Г.Г. Азгальдов, В.А. Зорин, А.П. Павлов // М.: МАДИ, 2006. – 220 с.
- [5] **Азгальдов, Г.Г.** Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов // М.: Высш. шк., 2011. — 143 с.

- [6] *Азгальдов, Г.Г.* Квалиметрическая экспертиза. Руководство по организации экспертизы и выполнению квалиметрических расчетов. Книга вторая. Расчётные модели качества / Г.Г. Азгальдов, В.М. Маругин // СПб., М.: Русский Регистр, 2002. – 517 с.
- [7] *Дорофеев, Р.С.* Оценка качества работы преподавателей с применением квалиметрической экспертизы и онтологического подхода / Р.С. Дорофеев, А.С. Дорофеев // Материалы IV международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образования (Улан-Удэ, 28-30 августа 2015 г.)», г. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2015. - С.210-215.
- [8] DbDesigner. - <http://fabforce.eu/dbdesigner4/>.
- [9] *Сосинская, С.С.* Сравнение возможностей программных продуктов OntoStudio и Protege для анализа станочных систем машиностроительного производства / В.А. Игруша, С.С. Сосинская, С.А. Орсоева // Вестник ИрГТУ. - 2015. - № 3. – С.17–23.
- [10] *Gruber, T.* Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing / T. Gruber // International Workshop on Formal Ontology. - Padova, Italy, 1993. – P.907-928.
- [11] *Горшков, С.* Введение в онтологическое моделирование / С. Горшков // ТриниДата, 2016. – 165 с. – <https://trinidad.ru/files/SemanticIntro.pdf>.
- [12] *Terence, P.* The Definitive ANTLR Reference: Building Domain-Specific Languages / P. Terence // The Pragmatic Bookshelf, 2007. – 376 p.
- [13] *Terence, P.* The Definitive ANTLR 4 Reference. Published: 2013-01-15, Release: P2.0 (2014-09-16). - 328 p. – <https://pragprog.com/book/tpantlr2/the-definitive-antlr4-reference>.
- [14] *Боргест, Н.М.* Онтологический редактор Fluent Editor / Н.М. Боргест, А.А. Орлова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. - 44 с.
- [15] Description of the Fluent editor at Cognitum. - <https://www.cognitum.eu/download/download.aspx?id=1001>.

## DEVELOPING A SYSTEM FOR ESTIMATION RATING OF TEACHERS BASED ON QUALIMETRIC APPROACH AND ONTOLOGY

S.S. Sosinskaya<sup>a</sup>, R.S. Dorofeev<sup>b</sup>, A.S. Dorofeev<sup>c</sup>

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

<sup>a</sup>*sosinskaya@mail.ru*, <sup>b</sup>*rdobermann@list.ru*, <sup>c</sup>*dorbaik@istu.edu*

### Abstract

Education reform taking place in Russia affected not only its educational levels and the studied subjects, but also teachers are required to be more relevant and intensify their activities. Evaluation of employees' performance helps to determine the effectiveness of a particular work realization, allows establishing compliance of indicators to the necessary requirements. The article proposes the combined use of the qualimetric approach and ontology for rating teachers. With this purpose we developed a Web application with a database on the MSSQL server used for collecting the information needed to figure out the rating and the integral evaluation of the quality of the teacher performance based on the values of indicators and weights. Then the database is converted into an ontology using FLUENT editor by means of the ANTLR software tool. Ontology, containing classes, attributes, and relations, allows one to perform various database queries. The proposed approach first combines the use of all mentioned software products, will allow more objective evaluation of the performance of the teacher in various aspects, encouraging to improve the productivity and increase the efficiency.

**Key words:** *qualimetric approach, ontology, quality evaluation, database, FLUENT editor, ANTLR*

**Citation:** *Sosinskaya SS, Dorofeev RS, Dorofeev AS.* Developing a system for estimation rating of teachers based on the qualimetric approach and ontology [In Russian]. *Ontology of designing*. – 2019; 9(2): 214-224. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-214-224.

### References

- [1] *Tomassetti G.* The ANTLR Mega Tutorial / G. Tomassetti // in ANTLR, Language Engineering, Parsing [Electronic resource] – <https://tomassetti.me/antlr-mega-tutorial/>.

- [2] QUALITY MANAGEMENT SYSTEM. Management regulations for effective contract system of research and teaching staff [In Russian]. - Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2018. - P.21. - <http://www.istu.edu/local/modules/doc/download/45756>.
  - [3] *Azgal'dov GG, Marugin VM*. Qualimetric expertise. Guide on organization of examination and implementation of qualitative evaluation. Organization of an expertise [In Russian]. Moscow: Russian Register, 2002. – 517 p.
  - [4] *Azgal'dov GG, Zorin VA, Pavlov AP*. Qualimetry for mechanical engineers [In Russian]. - M.: MADI, 2006. – 220 p.
  - [5] *Azgal'dov GG, Kostin AV, Sadovov VV*. Qualimetry: an introduction. Casebook with example for ANO "Agency for strategic initiatives to promote new projects" [In Russian]. - M.: High school, 2011. — 143 p.
  - [6] *Azgal'dov GG, Marugin VM*. Qualimetric expertise. Guide on organization of examination and implementation of qualitative evaluation. Book two. The estimation models of quality [In Russian]. - SPb., Moscow: Russian Register, 2002. – 517 p.
  - [7] *Dorofeev SR, Dorofeev AS*. Evaluation of the quality of work of teachers with the use of qualimetric examination and ontological approach [In Russian]. Materials of IV international scientific-practical conference "Innovative technologies in science and education (Ulan-Ude, August 28-30, 2015)", Ulan-Ude: publishing house of Buryat state University, 2015. - P.210-215.
  - [8] DbDesigner - <http://fabforce.eu/dbdesigner4/>.
  - [9] *Irgusha VA, Sosinskaya SS, Orsoeva SA*. Comparison of software OntoStudio and Protege for the analysis of mechanical engineering production [In Russian]. Vestnik IrGTU. – 2015; 3: 17-23.
  - [10] *Gruber, T*. Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing / International Workshop on Formal Ontology. - Padova, Italy, 1993. – P.907-928.
  - [11] *Gorshkov S*. Introduction to ontology modeling [In Russian]. - TriniData, 2016. – 165 p. – <https://trinidata.ru/files/SemanticIntro.pdf>.
  - [12] *Terence P*. The Definitive ANTLR Reference: Building Domain-Specific Languages. The Pragmatic Bookshelf, 2007. – 376 p.
  - [13] *Terence Parr*. The Definitive ANTLR 4 Reference. Published: 2013-01-15, Release: P2.0 (2014-09-16). - 328 p. - ISBN: 978-1-93435-699-9 – <https://pragprog.com/book/tpantlr2/the-definitive-antlr-4-reference>.
  - [14] *Borgest NM, Orlova AA*. Ontology editor - Fluent Editor [In Russian]. – Samara: Samara University, 2017. - 44 p.
  - [15] Description of the Fluent editor at Cognitum - <https://www.cognitum.eu/download/download.aspx?id=1001>.
- 

## Сведения об авторах



*Сосинская Софья Соломоновна*, окончила Иркутский государственный университет по специальности «Математик-вычислитель». Кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники. Область научных интересов – искусственный интеллект, трансляторы. Имеет свыше 70 публикаций.

*Sofia Solomonovna Sosinskaya* graduated from Irkutsk state university, specialty "Mathematician-calculator". PhD, professor of Department of computer technology. Research interests: artificial intelligence, translators. She has over 70 publications.

*Дорофеев Роман Сергеевич*, окончил Иркутский Государственный технический университет в 2009 г., к.т.н. (2014). Доцент кафедры вычислительной техники Иркутского национального исследовательского технического университета. Автор более 20 публикаций.

*Roman Sergeevich Dorofeev* graduated from the Irkutsk State Technical University, 2009,

PhD. (2014). Associate professor of Department of computer technologies of National research Irkutsk state technical university. Author of over 20 publications.



*Дорофеев Андрей Сергеевич*, окончил Иркутский государственный технический университет, к.т.н., доцент. С 2008 года руководит кафедрой вычислительной техники. Автор более 40 публикаций.

*Andrey Sergeevich Dorofeev* graduated from the Irkutsk state technical University, PhD, associate professor. He is the head of the Department of computer technologies since 2008. Author of over 40 publications.



УДК 004.8:620.9

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА УГРОЗ И ОЦЕНКИ РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.Г. Массель<sup>а</sup>, Д.А. Гаськова<sup>б</sup>

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

<sup>а</sup> *amassel@gmail.com*, <sup>б</sup> *gaskovada@gmail.com*

### Аннотация

В статье описываются результаты применения онтологического инжиниринга при разработке интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности энергетических объектов. Построено онтологическое пространство знаний проблемной области оценки рисков, включающей идентификацию, анализ и оценивание рисков инцидентов кибербезопасности, способных вызвать экстремальные ситуации в энергетике. Представлены архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы и задачи, для решения которых выполнялся онтологический инжиниринг. Онтологическое пространство знаний представлено онтологиями, разработка которых ведётся для каждого блока интеллектуальной системы. Приводятся онтологии, отражающие основные понятия кибербезопасности, включая актуальные угрозы в энергетическом секторе, классификацию рисков и компоненты сценария возникновения экстремальной ситуации в энергетике. Разработанные онтологии позволили интегрировать понятия основных областей исследования, в числе которых энергетическая безопасность, кибербезопасность, сценарное планирование и управление рисками. В работе использованы методы системного анализа, методические основы построения интеллектуальных информационных систем в энергетике, методы поддержки принятия решений, методы инженерии знаний, включая онтологический инжиниринг. Новизна работы - в структурировании экспертных знаний и построении онтологического пространства знаний, которое используется для разработки интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности объектов энергетики.

**Ключевые слова:** кибербезопасность, онтологический инжиниринг, энергетические объекты, интеллектуальная система.

**Цитирование:** Массель А.Г. Онтологический инжиниринг для разработки интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков кибербезопасности энергетических объектов / А.Г. Массель, Д.А. Гаськова // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С. 225-238. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238.

### Введение

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Цифровая энергетика развивается с учётом федеральных стратегий и отраслевых программ [1]. При этом цифровизация объектов энергетики (ОЭ) может вызывать возникновение киберугроз, связанных с внедрением новых решений, применением новых бизнес-моделей, которые сопровождаются отсутствием или недостаточностью информации для оперативного принятия решений по обеспечению безопасности объекта. В связи с этим необходимо расширять область знаний об объектах, рассматривать взаимосвязи технологических процессов на ОЭ и их влияние на состояние энергетической безопасности как самого объекта, так и внешней среды. Энергетическая безопасность рассматривается как состояние защищённости страны, её граждан, обще-

ства, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами приемлемого качества в нормальных условиях и при чрезвычайных обстоятельствах, а также от нарушений стабильности, бесперебойности топливо- и энергообеспечения [2]. Эти угрозы определяются как внешними (геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными) факторами, так и состоянием и функционированием энергетического сектора страны [3]. В последнее время список угроз расширен угрозами кибербезопасности, реализация которых может спровоцировать экстремальные ситуации в энергетике, чреватые значительным снижением возможностей обеспечения энергоресурсами потребителей. Киберугрозы рассматриваются как один из важнейших современных видов угроз энергетической безопасности [4].

Применение онтологического инжиниринга для систематизации основных понятий предметной области (ПрО) может связать все виды угроз, их взаимовлияния друг на друга и на остальные концепты ПрО.

Понятие онтологического инжиниринга относится к инженерии знаний – разделу инженерной деятельности, направленной на использование знаний в компьютерных системах для решения сложных задач [5]. Целями онтологического инжиниринга являются повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений, повышение эффективности информационного поиска, предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний.

В энергетическом секторе широко применяется онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений, обеспечивающий взаимосвязи и согласованность исследований при разработке систем онтологий. Система онтологий, включающая онтологии ситуационного управления, а также методика проведения исследований стратегий развития энергетики представлена в работе [6]. В работе [7] онтология топливно-энергетического сектора (ТЭК) применяется при моделировании критических инфраструктур энергетики. Формальное описание отраслей энергетики и компонентов интеллектуальной системы (ИС) поддержки принятия стратегических решений применяется в исследованиях энергетической безопасности [8, 9]. При разработке системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры нефтегазодобывающих предприятий применялся формат представления данных в виде объектов онтологии [10]. Исследование кибербезопасности и её основные понятия в соответствии с ISO/IEC 27032:2012 «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Руководящие указания по кибербезопасности», а также основные особенности кибербезопасности в энергетике изложены в работе [11].

## **1 Применение онтологий при разработке ИС**

С целью исследования возможных обстоятельств нарушения энергетической безопасности, вызванных реализацией киберугроз, авторами разрабатывается ИС анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ [12]. Общая архитектура ИС представлена на рисунке 1 и включает:

- экспертную систему (ЭС) «Cyber» - производственная ЭС, предназначенная для сопровождения аудита безопасности на энергетическом предприятии и выявления типовых уязвимостей, угроз и векторов атак информационно-технологической системы (ИТС) объекта;
- блок Байесовских сетей доверия (БСД), предназначенный для моделирования экстремальной ситуации, вызванной нарушением кибербезопасности, и определения вероятности наступления последствий;
- блок оценки рисков последствий от реализации киберугроз, включающий ранжирование активов и ОЭ в соответствии с величиной риска и критериев ранжирования.

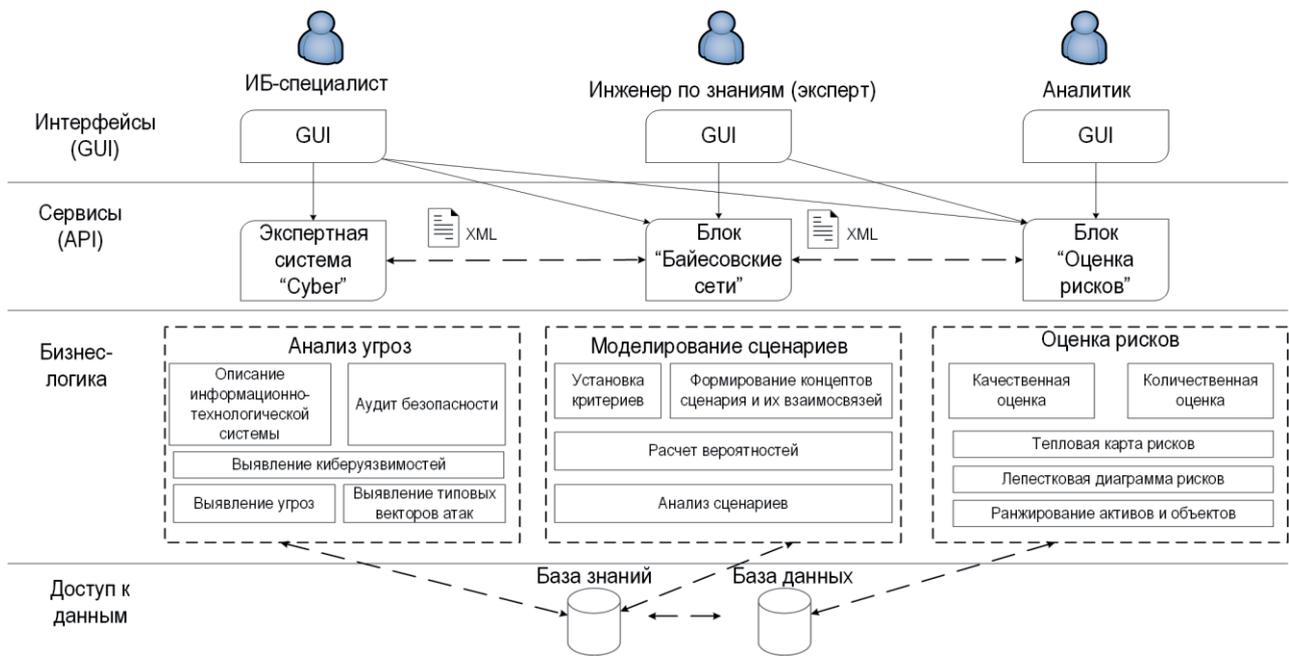


Рисунок 1 – Архитектура ИС анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ

Разработка ИС основана на методике анализа угроз и оценки рисков (АУОР) нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов [13], переработанной для ОЭ и дополненной аспектами кибербезопасности. ИС разрабатывается для решения следующих групп задач:

- анализ киберугроз;
- моделирование сценариев;
- оценивание рисков, включающих ранжирование объектов и их активов.

Под анализом киберугроз понимается комплекс мероприятий по идентификации риска, включающий подготовку к анализу угроз и риска, в том числе установление контекста менеджмента риска, сбор и анализ данных, установление границ АУОР, а также предварительную оценку критичности активов рассматриваемого объекта. Для реализации последнего посредством ЭС «Cyber» предлагается провести аудит безопасности ИТС объекта в форме анкетирования, на основе чего определяется список предполагаемых активов, содержащих уязвимости, а также вероятные (тривиальные) угрозы.

В качестве критериев для составления анкет и проведения анкетирования предлагается использовать известные векторы атак реализации киберугроз. Выделены два основных направления векторов атак на промышленные компании: нецелевые атаки, направленные на IT-инфраструктуру, воздействие на которую может негативно повлиять на штатное функционирование промышленных систем; целевые атаки, направленные на промышленное оборудование. В первом случае рассматривается проникновение в корпоративную сеть и получение доступа к локальной вычислительной сети. Во втором - проникновение из корпоративной сети в технологическую и развитие атаки до получения доступа к критически важным системам [14].

Моделирование сценариев осуществляется в разрабатываемом блоке Байесовских сетей, который предназначен для анализа риска. Эта группа задач включает построение графа, отражающего вероятностные взаимосвязи между идентифицированными уязвимостями активов, угрозами, средствами контроля и последствиями. Ситуацию на объекте, например, нормальное функционирование, критическая или чрезвычайная ситуация, предлагается опреде-

лять вероятностным интегральным показателем, который является потомком всех узлов последствий, основанным на индикативном анализе.

Для оценивания рисков разрабатывается блок оценки рисков, который включает качественное и количественное оценивание рисков инцидентов безопасности, приводящих к экстремальным ситуациям в энергетике.

Риски определяются тройкой:

$$(1) \quad R = \{T, V, D\},$$

где  $T$  – угрозы,  $V$  – уязвимости,  $D$  – ущерб при реализации угрозы.

Оценивание рисков включает три основных процесса:

- описание рисков всех значимых сценариев в соответствии с классификацией;
- измерение уровня риска, в процессе которого присваиваются качественные значения критичности и последствий риска;
- количественное измерение уровня риска основывается на байесовской вероятности наступления последствий и оценке возможного ущерба в денежном эквиваленте.

Группа задач ранжирования объектов и их активов связана с определением критических активов на основе величины риска внутри объекта, а также определением ОЭ, наиболее подверженных рискам наступления экстремальных ситуаций за счёт реализации киберугроз.

Величина риска внутри объекта определяется как:

$$(2) \quad R_o = \{T_o, V_o, D_o\},$$

где  $T_o$  – совокупность угроз,  $V_o$  – совокупность уязвимостей активов на объекте,  $D_o$  – сумма ущербов при реализации угрозы.

Для решения этих задач разрабатывается одноименный блок ИС.

Онтология задач (нижний уровень) и реализующих их блоков ИС (верхний уровень) представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Онтология задач и инструментальных средств анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ

При проектировании системной архитектуры ИС необходимо решить задачи классификации основных понятий, установления взаимосвязей между ними, выявления основных процессов и методов, применяемых при оценке рисков кибербезопасности, а также структуризации знаний по анализу угроз и оценке рисков нарушения кибербезопасности ОЭ. Для решения этих задач была разработана система онтологий для каждого блока ИС.

## 2 Онтологическое пространство знаний ИС анализа угроз и оценки рисков

Онтологическое пространство знаний, представляющее собой систему онтологий, логически объединённых по каждому разделу ПрО, представлено на рисунке 3. Система онтологий включает онтологии, отражающие основные концепты разделов ПрО и их взаимосвязи. В качестве разделов ПрО выступают анализ киберугроз, включая предварительную подго-

товку и результирующую модель угроз; вероятностные сценарии, с учётом анализа угроз; оценка рисков, с учётом последствий наступления экстремальных ситуаций, и выявление критически значимых активов ОЭ.

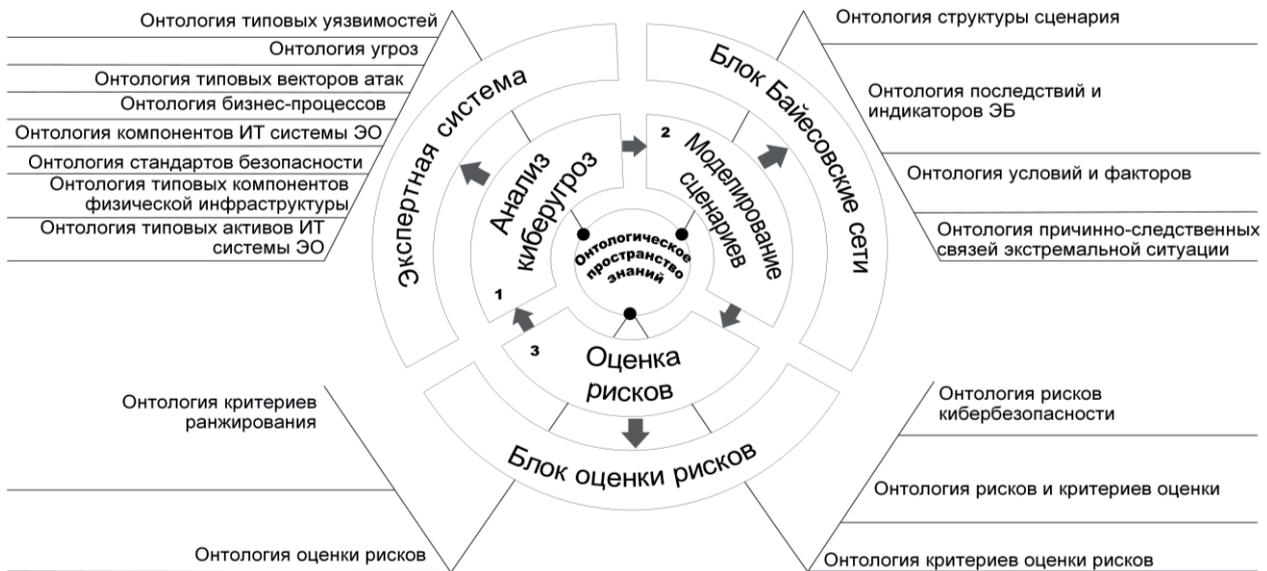


Рисунок 3 – Онтологическое пространство знаний для разработки ИС анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ

## 2.1 Анализ киберугроз

Анализ угроз до сих пор остаётся нетривиальной задачей. Наибольшая сложность заключается в сопоставлении уязвимостей активов информационно-технологических (ИТ) систем, используемых на предприятии, и возможных угроз безопасности, реализация которых повлечёт ощутимые потери для рассматриваемого объекта. Разрабатываемая онтология для анализа угроз представлена на рисунке 4 и включает восемь взаимосвязанных онтологий.

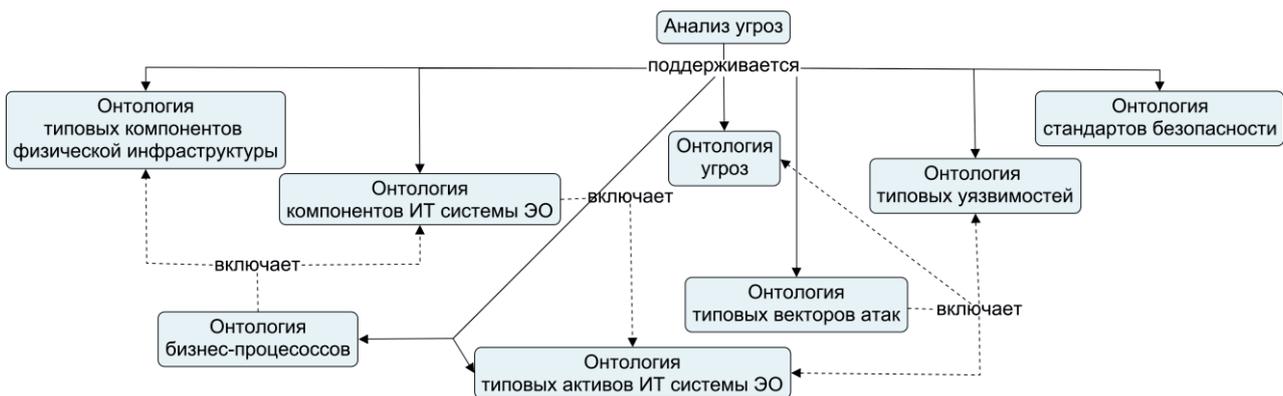


Рисунок 4 – Онтология анализа угроз

В настоящее время не существует единого нормативно-правового пространства, охватывающего вопросы обеспечения безопасности в области энергетики. Нормативные документы охватывают различные области безопасности и используют различную терминологию. Анализ нормативных документов, в том числе международных, отражен, например, в работах [15, 16]. Онтология стандартов безопасности разрабатывается с целью кластеризации знаний по методам проведения оценки безопасности, а также методам обеспечения безопасности

для каждой из областей кибербезопасности: безопасности приложений, информационной безопасности, сетевой безопасности, безопасности Интернет и защите ключевых информационных систем объектов критических инфраструктур [17]. Разрабатываемую онтологию стандартов планируется применять при составлении анкеты для проведения аудита безопасности с использованием ЭС «Cyber» [18].

С целью определения основных угроз в энергетике, связанных с нарушением кибербезопасности на объектах, разработана онтология угроз, представленная на рисунке 5. Уязвимости и угрозы содержатся в базах данных, например, «Банк данных угроз безопасности информации» ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России» [19], международная база данных уязвимостей «Common Vulnerabilities and Exposures» (CVE) [20]. Их описания включают слабые места конкретного программного продукта. Основные задачи онтологического инжиниринга в данной области заключаются в установлении актуальных уязвимостей и угроз для энергетики и их классификации для типовых компонентов и активов ИТС. Соответствующие онтологии разрабатываются для формирования структуры и дальнейшего наполнения базы знаний ЭС «Cyber» с целью автоматизации проведения аудита безопасности на предприятии.

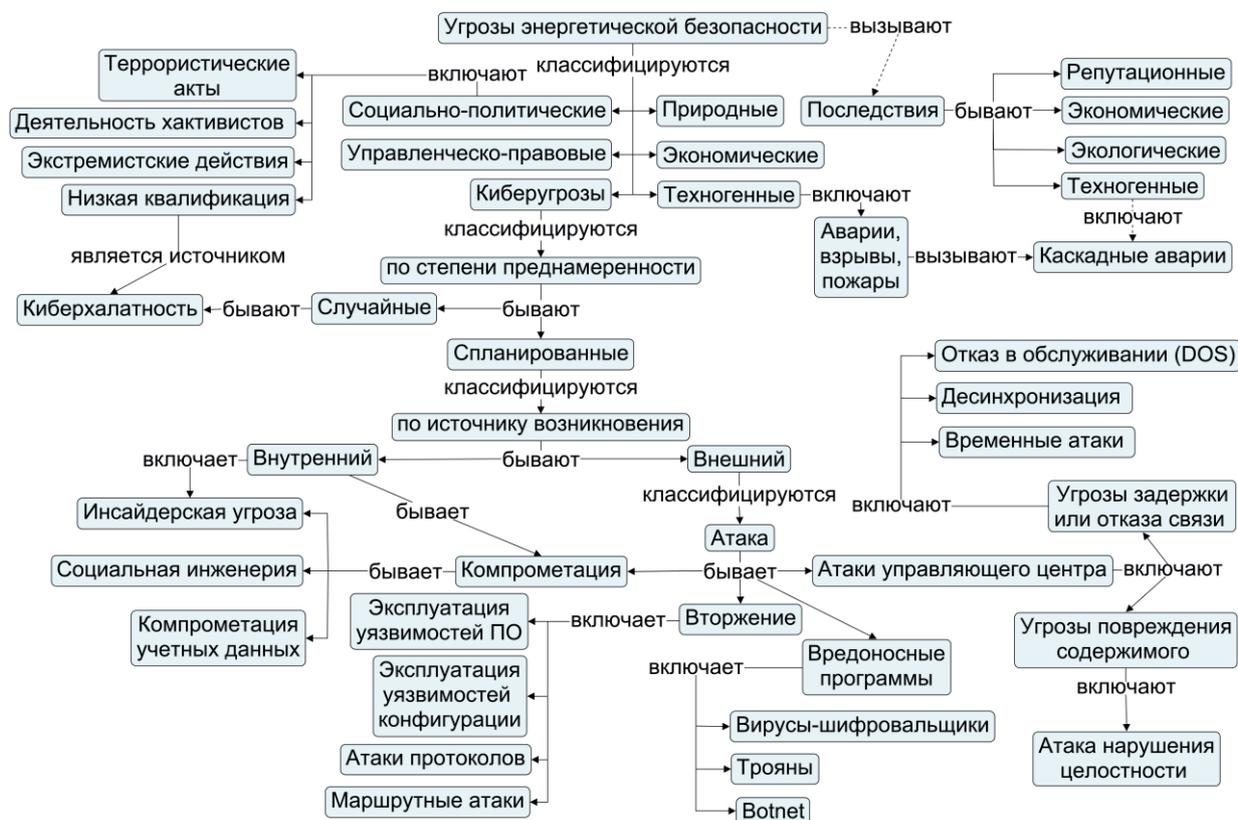


Рисунок 5 – Онтология угроз энергетической безопасности

Связи между уязвимостями и угрозами устанавливаются путём формирования векторов атак. Типовые векторы атак на промышленные предприятия и корпоративные информационные системы описаны в исследованиях ведущих компаний, таких как Лаборатория Касперского [21] и Positive Technologies [14, 22], типовые угрозы в энергетике описаны в [23]. Векторы атак в ИС описываются в виде продукционных правил, в соответствии с которыми строится граф для определения вероятности наступления экстремальных ситуаций в ОЭ.

В ходе аудита безопасности анализируются активы ИТС рассматриваемого объекта и выявляются критически значимые и содержащие уязвимости. Онтологический инжиниринг в данной области проводился на трёх уровнях автоматизированной системы управления тех-

нологическими процессами. Особое внимание при этом уделялось верхнему уровню диспетчерского управления, поскольку характерной особенностью последствий реализации угроз на данном уровне является возможность получения административного доступа к системе управления предприятием. Полученная онтология применяется при разработке анкеты для проведения аудита безопасности предприятия.

Анализ киберугроз ведётся на основе онтологического инжиниринга основных бизнес-процессов ИТС ОЭ, целью которого является обоснование полноты выявляемых уязвимостей. Для формирования базы данных об ОЭ выполняется онтологический инжиниринг типовых компонентов их физической инфраструктуры, а также компонентов ИТС, под которыми понимаются автоматизированные информационные системы, используемые на предприятиях энергетики.

Онтологический инжиниринг в рамках анализа угроз позволил систематизировать разрозненную информацию об ОЭ, их характеристиках и компонентах, бизнес-процессах, активах, связанных с ними уязвимостях и угрозах нарушения кибербезопасности, а также стандартах безопасности, применимых в энергетическом секторе. Представленные онтологии применяются в разрабатываемой ЭС в части формирования структуры самого компонента и базы знаний, алгоритма проведения аудита безопасности, и в дальнейшем при вероятностном моделировании сценариев.

## 2.2 Моделирование сценариев экстремальных ситуаций в энергетике

Задачи по прогнозированию условий функционирования и развития систем энергетики и ТЭК, оценке их состояния, выбор альтернатив и мер по предотвращению критических и чрезвычайных ситуаций в энергетике решаются в рамках модельных сценарных исследований [7]. При решении задачи прогнозирования поведения ОЭ в условиях нарушения кибернетической безопасности, вызывающих реализацию угроз энергетической безопасности (ЭБ), проводился онтологический инжиниринг, по результатам которого сформирована система онтологий, представленная на рисунке 6.

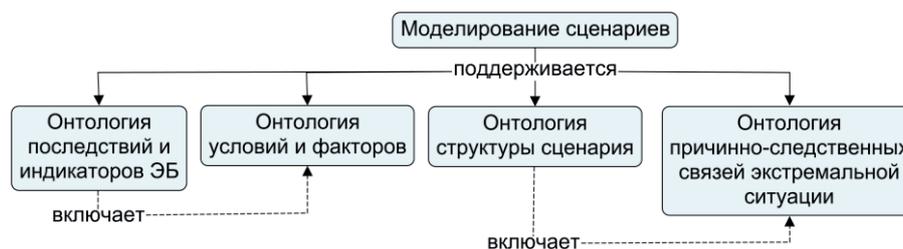


Рисунок 6 – Онтология экстремальных ситуаций в энергетике

Количество инцидентов, связанных с реализацией киберугроз на промышленных предприятиях, растет [14], а возглавляет список энергетический сектор [21]. На основе онтологии экстремальных ситуаций в энергетике, вызванных киберугрозами, определены структура ИС, блоки БСД и оценки рисков.

Построение сценариев в ИС осуществляется в блоке БСД. Такие блоки хорошо зарекомендовали себя в качестве инструмента вероятностного моделирования для анализа как угроз ЭБ [24], так и экономических рисков [25] и рисков информационных технологий [26].

Для построения бизнес-логики блока БСД разработана онтология сценария экстремальной ситуации в энергетике, вызванной нарушением кибербезопасности на объекте. Рисунок 7 демонстрирует основные концепты сценария, их характеристики и взаимосвязи. Сценарий экстремальной ситуации в энергетике представляет собой вероятностные оценки возможных ситуаций, представленные последовательностью уязвимостей, киберугроз, угроз энергетиче-

ской безопасности и угрозами причинения ущерба рассматриваемому предприятию и/или территориально-приближенной внешней среде либо энергосистеме в целом, а также пессимистические оценки основных количественных характеристик исследуемых ОЭ в условиях нарушения кибербезопасности рассматриваемого объекта [27].

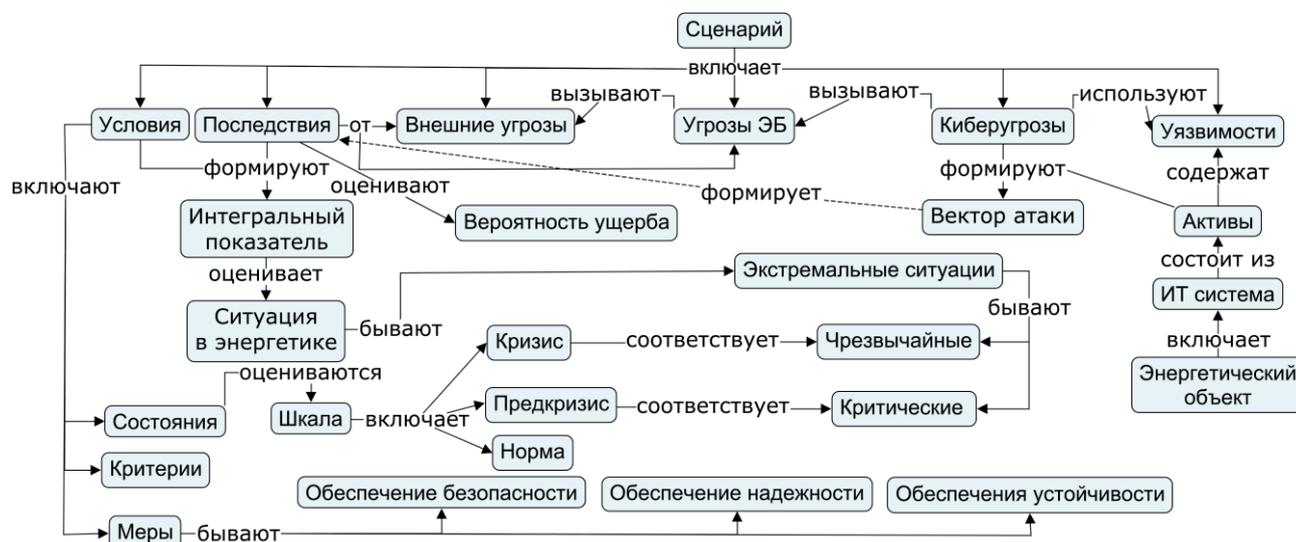


Рисунок 7 – Онтология сценария экстремальной ситуации в энергетике, вызванной киберугрозами

Помимо присутствия уязвимостей в активах ИТС или отсутствия средств защиты и методов обеспечения надежности, немаловажными при возникновении той или иной ситуации являются текущее состояние системы и влияющие на неё факторы, например, такие, как сезонность, экологическая значимость прилегаемой территории, социальные факторы и другие. Это направление онтологического инжиниринга основывается на исследованиях устойчивости энергетических систем [28, 29] и их технологической безопасности [30].

В процессе формирования графа экстремальной ситуации оценивается вероятность наступления некоторых негативных событий, таких, как падение мощности, снижение нагрузки, отключение групп потребителей и др. В работах по исследованию ЭБ разработаны индикаторы, по которым можно судить о наступлении той или иной экстремальной ситуации [2]. В этом направлении разрабатывается онтология последствий и индикаторов ЭБ на основе анализа описанных инцидентов, например [31, 32].

### 2.3 Оценки рисков

Процесс оценки рисков включает в себя два этапа: анализ рисков и оценивание рисков. Анализ рисков сопровождается идентификацией значимых угроз и уязвимостей, а также оценкой вероятности реализации угроз и уязвимостей [33].

Анализ рисков проводится в рамках решения задач по анализу киберугроз и моделированию сценариев экстремальных ситуаций в энергетике. Для решения задачи по оцениванию рисков применяется онтологический инжиниринг в области управления рисками, результаты которого представлены на рисунке 8.

Риск рассматривается как сочетание последствий некоторого события (инцидента) и связанной с ним возможностью возникновения (вероятностью), а оценка рисков – как процесс идентификации, анализа и оценивания, в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 27005:2011 «Информационная технология – Методы и средства обеспечения безопасности – Менеджмент риска информационной безопасности».

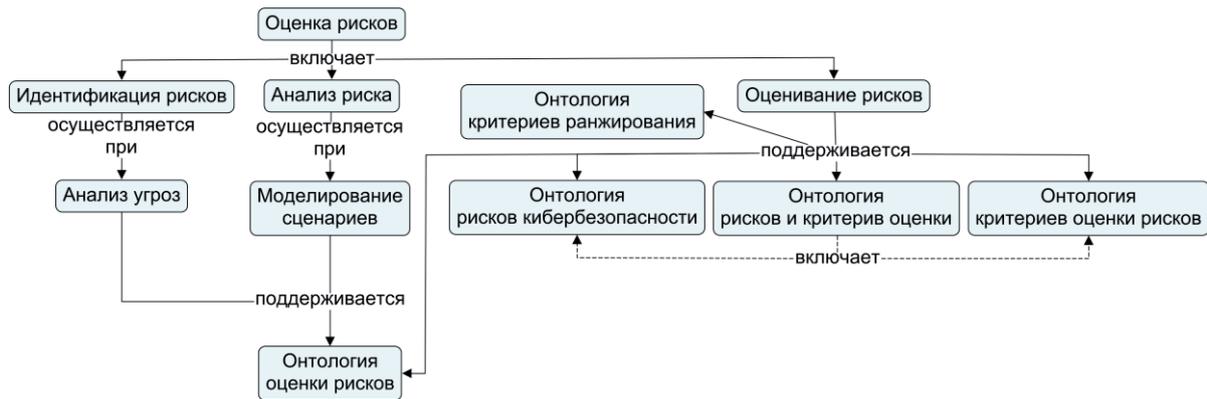


Рисунок 8 – Онтология оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ

Риски кибербезопасности рассматриваются, с одной стороны, как риски киберсреды, а с другой - как вид рисков ЭБ, связанных с нарушением функционирования физической инфраструктуры ОЭ, приводящим к негативным последствиям. Онтология рисков кибербезопасности в энергетике представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Онтология рисков кибербезопасности в энергетике

Основные критерии оценки рисков отражены в законе от 26 июля 2017 года № 187-ФЗ «О защите критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». На основе данного закона разработана онтология критериев оценивания рисков.

Оценка рисков основывается главным образом на стандарте ISO/IEC 27005, а также методике АУОР [13]. На заключительном этапе оценки рисков предлагается проводить ранжирование объектов. Для этого вводится критерий значимости объекта:

$$K_S = \{C, R, F\},$$

где  $K_S$  – критерий значимости;  $C$  – критерий оценки рисков,  $R$  – интегральный показатель рисков объекта,  $F$  – объект, представленный совокупностью основных характеристик.

Критерии оценки рисков складываются из оценки влияния на технологическую, экологическую или социальную составляющую рисков, в зависимости от того, какой фактор более важен (определяется экспертным путём). Интегральный показатель рисков объекта склады-

вается из формулы (2). В качестве  $F$  принимают основные характеристики ОЭ, например производственная мощность. Объектам выставляются ранги согласно оценке показателя критерия значимости. Пользователь определяет проранжированный список ОЭ с учётом критерия значимости и величины рисков наступления экстремальной ситуации при возникновении киберугроз на каждом из объектов.

## Заключение

Рассмотрены ПрО анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности в энергетике. Применение онтологического инжиниринга позволило структурировать знания экспертов и данные стандартов в области безопасности. Приведены онтологии, использованные при разработке ИС анализа угроз и оценки рисков нарушения кибербезопасности ОЭ, объединённые в онтологическое пространство знаний ПрО. Дано описание взаимосвязей онтологий и показано их применение в ИС.

## Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения госзадания ИСЭМ СО РАН № АААА-А17-117030310444-2, а также в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ № 19-07-00351, Бел\_мол\_а № 19-57-04003, № 18-07-00714, мол\_а № 18-37-00271, № 17-07-01341.

## Список источников

- [1] *Массель, Л.В.* Методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики / Л.В. Массель // Энергетическая политика. № 5. 2018. – С.30-42.
- [2] Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н.И. Пяткова, В.И. Рачук, С.М. Сендеров, М.Б. Чельцов. Новосибирск: СО РАН, 2011. - 198 с.
- [3] Энергетическая безопасность России // Н.И. Воропай, С.М. Сендеров, Н.И. Пяткова, Г.Б. Славин. Новосибирск: Наука, 1998. - 302 с.
- [4] *Массель, Л.В.* Киберопасность как одна из стратегических угроз энергетической безопасности / Л.В. Массель, Н.И. Воропай, С.М. Сендеров, А.Г. Массель // Вопросы кибербезопасности. № 4 (17). 2016. – С.2-10.
- [5] *Гаврилова, Т.А.* Инженерия знаний. Модели и методы. / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 324 с.
- [6] *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.
- [7] *Пяткова, Н.И.* Моделирование критических инфраструктур энергетики с учетом требований энергетической безопасности / Н.И. Пяткова, Н.М. Береснева // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2017. № 3(7).– С.54-65.
- [8] *Ворожцова, Т.Н.* Онтологическая модель пространства знаний для ситуационного управления в энергетике / Т.Н. Ворожцова // XX Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2015. - С.85-88.
- [9] *Копайгородский, А.Н.* Применение онтологий в семантических информационных системах / А.Н. Копайгородский // Онтология проектирования. – № 4 (14). – 2014. – С.78-89.
- [10] *Загорюлько, Ю.А.* Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии / Ю.А. Загорюлько, Г.Б. Загорюлько // Вестник НГУ. Серия: Информационных технологий. Том 10, Выпуск 1. 2012. – С.121-128.
- [11] *Ворожцова, Т.Н.* Онтология как основа для разработки интеллектуальной системы обеспечения кибербезопасности / Т.Н. Ворожцова // Онтология проектирования. – № 4 (14). – 2014. – С.69-77.
- [12] *Gaskova, D.* Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility / D. Gaskova, A. Massel // Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). Vladivostok. Publisher: IEEE. – 2018. – P.1-5.

- [13] **Массель, А.Г.** Методика анализа угроз и оценки риска нарушения информационно-технологической безопасности энергетических комплексов / А.Г. Массель // XX Байкальской Всероссийской конференции: труды, т. III. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – С.186-195.
- [14] Positive Technologies Промышленные компании: векторы атак. 23 апреля 2018. - 24 с. - <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ics-attacks-2018/>.
- [15] **Юдин, А.** Анализ и оценка нормативных документов, применяемых для обеспечения информационной безопасности Smart Grid систем / А. Юдин, Г. Пирогов // Научно-технический сборник «КПИ им. Игоря Сикорского» «Правовое, нормативное и метрологическое обеспечение системы защиты информации в Украине». Выпуск 25. – 2013. – С.88-95.
- [16] **Литвинов, П.** Имитационное моделирование вопросов информационной безопасности как инструмент оценки защищённости и оптимизации затрат / П. Литвинов // Портал «Мир компьютерной автоматизации». – <http://www.rtsoft.ru/press/23432/imitatsionnoe-modelirovanie-voprosov-informatsionnoy-bezopasnosti-kak-instrument-otsenki-zashchishch/>.
- [17] Наставления по кибербезопасности (ISO/IEC 27032:2012): излож. стандарта ISO/IEC 27032:2012 «Информационные технологии. - Методы обеспечения безопасности. - Наставления по кибербезопасности» // В.В. Мохор, А.М. Богданов, А.С. Килевой. - Киев: Три-К, 2013. - 129 с.
- [18] **Гаськова, Д.А.** Разработка экспертной системы для анализа угроз кибербезопасности в энергетических системах / Д.А. Гаськова, А.Г. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2016. - №1. - С.113-122.
- [19] Банк данных угроз безопасности информации. ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России». - <https://bdu.fstec.ru/>.
- [20] Международная база данных уязвимостей Common Vulnerabilities and Exposures (CVE). - <https://cve.mitre.org>.
- [21] WannaCry в промышленных сетях: работа над ошибками. – <https://ics-cert.kaspersky.ru/reports/2017/06/08/wannacry-in-industrial-networks/>.
- [22] Positive Research 2018. Сборник исследований по практической безопасности. АО «Позитив Текнолоджиз». 2018. - 204 с. – <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Positive-Research-2018-rus.pdf>.
- [23] **Sridhar, S.** Cyber-physical system security for the electric power grid / S. Sridhar, A. Hanh, M. Govindarasu // Proc. IEEE. 2012. Vol. 100. No. 1. – P. 210-224.
- [24] **Массель, Л.В.** Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности / Л.В. Массель, Е.В. Пяткова // Вестник ИрГТУ. – № 2. – 2012. – С. 8-13.
- [25] **Мусина, В.Ф.** Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки экономических рисков / В.Ф. Мусина // Труды СПИИРАН. Выпуск 25. – 2013. - С.235-254.
- [26] **Dantu, R.** Risk management using behavior based Bayesian networks / R. Dantu, P. Kolan // Intelligence and Security Informatics. 2005. – P.165-184.
- [27] **Massel, A.G.** Scenario approach for analyzing extreme situations in energy from a cybersecurity perspective / A.G. Massel, D.A. Gaskova // Industry 4.0, 2018, Issue 5. Publisher: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”. – P. 266-269.
- [28] **Kolosok, I.** Cyber Resilience of SCADA at the Level of Energy Facilities / I. Kolosok, E. Korkina // Proceedings of the Vth International workshop “Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security” (IWCI 2018). 2018. - P.100-105.
- [29] **Zio, E.** Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures / E. Zio // Reliability Engineering and System Safety. N 152. 2016. – P.137–150.
- [30] **Махутов, Н.А.** Обеспечения безопасной эксплуатации объектов техносферы и населения с использованием критериев риска / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин // Тезисы докладов XXI Междунар. научно-практ. конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. – 2016. – С.137-146.
- [31] **Массель, Л.В.** Экспертная система Advice для выбора управляющих воздействий в ситуационном управлении в энергетике / Л.В. Массель, А.Г. Массель, А.Ю. Мякотина // Тр. XX Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. 29 июня-07 июля 2015. – С.132-138.
- [32] **Багрова, Л.А.** Опасные техногенные катастрофы в энергетике как факторы экологического риска / Л.А. Багрова, В.А. Боков, А.С. Мазинов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия "География". Том 25 (64). 2012 г. No2. - С.9-19.
- [33] Семь безопасных информационных технологий / А.В. Барабанов, А.В. Дорофеев, А.С. Марков, В.Л. Цирлов // Под ред. А.С. Маркова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 224 с.

## ONTOLOGICAL ENGINEERING FOR THE DEVELOPMENT OF THE INTELLIGENT SYSTEM FOR THREATS ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT OF CYBERSECURITY IN ENERGY FACILITIES

A.G. Massel<sup>a</sup>, D.A. Gaskova<sup>b</sup>

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

<sup>a</sup>amassel@gmail.com, <sup>b</sup>gaskovada@gmail.com

### Abstract

The article describes the main results of applying ontological engineering in the development of the intelligent system for threats analysis and risk assessment of cybersecurity violations in energy facilities. The ontological knowledge space for the problem area of risk assessment has been built, comprising identification, analysis and evaluation of the risk of cybersecurity incidents that can cause extreme situations in the energy sector. The paper highlights the intellectual system architecture being developed and tasks for which the ontological engineering was carried out. The ontological knowledge space is represented as combining ontology subsystems, the development of which is carried out for each block of the intelligent system. The authors provide ontologies that reflect the basic concepts of cybersecurity, including current threats in the energy sector, risk classification and components of the emergency situation scenario in the energy sector. The produced ontologies allowed to integrate the concepts of the main research areas, including energy security, cybersecurity, scenario planning, and risk management. We used methods of system analysis, methodological foundations for building intelligent information systems in energy research, methods for supporting decision-making, methods of knowledge engineering, methods of semantic modeling, including ontological engineering. The novelty of the work is in the structuring of expert knowledge and the construction of the ontological knowledge space, which is used to develop an intelligent system for analyzing threats and assessing the risks to the cybersecurity of energy facilities.

**Keywords:** cybersecurity, ontological engineering, energy facilities, intelligent system.

**Citation:** Massel A.G., Gaskova D.A. Ontological engineering for the development of the intelligent system for threats analysis and risk assessment of cybersecurity in energy facilities [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 225-238. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238.

### Acknowledgment

This work was performed within the framework of project according to state assignment ESI SB RAS №AAAA-A17-117030310444-2. The study of separated aspects was supported by RFBR grants № 19-07-00351, № 19-57-04003, № 18-07-00714, № 18-37-00271, № 17-07-01341.

### References

- [1] **Massel LV.** Methods and intelligent technologies for scientific substantiation of strategic solutions on digital transformation of energy industry [In Russian]. *Energy Policy*. 2018; 5: 30-42.
- [2] **Pyatkova NI, Rabchuk VI, Senderov SM, Cheltsov MB.** Energy Security in Russia: Problems and Solutions [In Russian]. Novosibirsk: SB RAS, 2011, p. 198.
- [3] **Voropai NI, Senderov SM, Pyatkova NI, Slavin GB.** Energy Security of Russia [In Russian]. Novosibirsk: Nauka, 1998, 302 p.
- [4] **Massel LV, Voropai NI, Senderov SM, Massel AG.** Cyber Danger as one of the strategic threats to energy security [In Russian]. *Cybersecurity issues* 2016; 4(17): 2-10.
- [5] **Gavrilova TA, Kudryavcev DV, Muromcev DI.** Knowledge Engineering. Models and methods [In Russian]. – SPb.: “Lan” publ., 2016, 324 p.
- [6] **Massel LV, Vorozhtsova TN, Pjatкова 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.
- [7] **Pjatкова NI, Beresneva NM.** Modeling of critical energy infrastructures taking into account energy security [In Russian]. *Information and mathematical technologies in science and management* 2017; 3(7): 54-65.

- [8] **Vorozhtsova TN**. The ontological model of knowledge space for situational management in the energy [In Russian]. Proc. of the XX Baikal All-Rus. Conf. "Information and mathematical technologies in science and management". – Irkutsk. MESI SB RAS; 2015; Vol. 3: 85 - 88.
- [9] **Kopajgorodskij AN**. The use of ontologies in semantic information systems [In Russian]. *Ontology of designing* 2014; 4(14): 78-89.
- [10] **Zagorulko YA, Zagorulko GB**. Ontological approach to development of the decision support system for oil-and-gas production enterprise [In Russian]. *NSU Vestnik. Series: "Information Technology"* 2012; 10(1): 121-128.
- [11] **Vorozhtsova TN**. Ontology as the basis for the development of intelligent cybersecurity systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 4(14): 69-77.
- [12] **Gaskova D, Massel A**. Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility. Proc. of the 3rd Russian-Pacific Conf. on Computer Technology and Applications (RPC). – Vladivostok. Publisher: IEEE; 2018: 1-5.
- [13] **Massel AG**. The method of threat analysis and risk assessment of violation of information technology security of energy complexes [In Russian]. Proc. of the XX Baikal All-Rus. Conf. "Information and mathematical technologies in science and management". – Irkutsk. MESI SB RAS; 2015; Vol. 3: 186-195.
- [14] Industrial companies: attack vectors. Positive Technologies [In Russian]. April 23, 2018. - 24 p. - <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ics-attacks-2018/>.
- [15] **Yudin A, Pirogov G**. Analysis and evaluation of regulatory documents used to ensure information security of Smart Grid systems [In Russian]. Legal, regulatory and metrological support of information security in Ukraine. – Kiev: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; 2013: 88-95.
- [16] **Litvinov P**. Simulation modeling of information security issues as a tool for security assessment and cost optimization [In Russian]. - <http://www.rtsoft.ru/press/23432/imitatsionnoe-modelirovanie-voprosov-informatsionnoy-bezopasnosti-kak-instrument-otsenki-zashchishch/>.
- [17] **Mohor VV, Bogdanov AM, Kilevoj AS**. Information Technology. Methods of security. Cybersecurity manual (ISO/IEC 27032:2012) [In Russian]. – Kiev: Three-K; 2013, p.129.
- [18] **Gaskova DA, Massel AG**. Development of expert system for analysis of cybersecurity threats in the energy systems [In Russian]. *Information and mathematical technologies in science and management* 2016; 1(27): 113-122.
- [19] Information security data bank [In Russian]. FAA «GNIII PTZI FSTEK of Russia». - <https://bdu.fstec.ru/>.
- [20] International Vulnerability Database Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) - <https://cve.mitre.org>.
- [21] WannaCry in industrial networks: work on the bugs [In Russian]. - <https://ics-cert.kaspersky.ru/reports/2017/06/08/wannacry-in-industrial-networks/>.
- [22] Positive Research 2018 [In Russian]. Collection of studies on practical security. Positive Technologies JSC. 2018. 204 p. - <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Positive-Research-2018-rus.pdf>.
- [23] **Sridhar S, Hanh A, Govindarasu M**. Cyber-physical system security for the electric power grid. Proc. IEEE. 2012; 100(1): 210-224.
- [24] **Massel LV, Pjatkova EV**. Application of Bayesian belief networks for the intelligent support of energy security problem researches [In Russian]. Proceedings of Irkutsk State Technical University 2012; 2(61): 8-13.
- [25] **Musina VF**. Bayesian belief networks as probabilistic graphical model for economical risk assessment [In Russian]. SPIIRAS Proceedings 2013; 2(25): 235-254.
- [26] **Dantu R, Kolan P**. Risk management using behavior based Bayesian networks. *Intelligence and Security Informatics* 2005:165-184.
- [27] **Massel AG, Gaskova DA**. Scenario approach for analyzing extreme situations in energy from a cybersecurity perspective. Industry 4.0. – Sofia. Publ.: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0". 2018; 5: 266-269.
- [28] **Kolosok I, Korkina E**. Cyber Resilience of SCADA at the Level of Energy Facilities. Proc. of the Vth International workshop "Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security" (IWCI 2018). Publ. Atlantis Press. 2018: 100-105.
- [29] **Zio E**. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety* 2016; 152: 137–150.
- [30] **Machutov NA, Gadenin MM**. Ensuring the safe operation of the technosphere facilities and the public using risk criteria [In Russian]. Conf. abs. of XXI International Scientific and Practical Conference on the problems of protecting the population and territories from emergency situations; 2016: 137-146.
- [31] **Massel LV, Massel AG, Myakotina AY**. Expert system "Advice" for the selection of control actions in situational control in the energy [In Russian]. Proc. of the XX Baikal All-Rus. Conf. "Information and mathematical technologies in science and management" (Russia, Irkutsk. 29 June – 07 July). – Irkutsk. MESI SB RAS; 2015:132-138.
- [32] **Bagrova LA, Bokov VA, Mazinov SA**. Dangerous technological disasters in the energy sector as environmental risk factors [In Russian]. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Geography Sciences*. 2012; 25(2): 9-19.

- [33] *Barabanov AV, Dorofeev AV, Markov AS, Cirlov VL*. Seven secure information technologies [In Russian]. – Moscow. Publ: DMK Press; 2017. – 224 с.
- 

### Сведения об авторах



*Массель Алексей Геннадьевич*, 1985 г. рождения. Окончил Иркутский государственный университет в 2007 г., к.т.н. (2011). Старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в энергетике Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, доцент кафедры «Автоматизированные системы» Института кибернетики Иркутского национального технического университета. В списке научных трудов более 60 работ в области семантического моделирования, проектирования информационных систем и технологий, разработки систем интеллектуальной поддержки принятия решений в области энергетики.

*Massel Aleksei Gennadievich* (b. 1985) graduated from the Irkutsk State University in 2007, PhD in Engineering Science (2011). Senior researcher of Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. Senior lecturer of Automated Systems Department of the Cybernetic Institute in the Irkutsk National Research Technical University. The list of scientific works includes more than 60 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.



*Гаськова Дарья Александровна*, 1993 г. рождения. Окончила Иркутский национальный технический университет в 2015 г. Аспирант лаборатории информационных технологий в энергетике Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. В списке научных трудов более 15 работ в области семантического моделирования, кибербезопасности, менеджмента рисков и разработки интеллектуальных систем.

*Gaskova Daria Aleksandrovna* (b. 1993) graduated from the Irkutsk National Research Technical University in 2015. Ph.D. student in Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. The list of scientific works includes more than 15 articles in the field of semantic modeling, cybersecurity, risk management, and the development of intelligent decision support systems in the field of energy solutions.

УДК 338.23 (303.09, 330.46)

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА РИСКОВ И УГРОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ

Д.В. Трошин

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия  
giorip2@yandex.ru

### Аннотация

В статье рассмотрены основные отношения между сущностями, возникающими при анализе конкретных ситуаций наличия угроз и рисков экономической безопасности общества – от регионального до национального уровня. Устойчивые отношения отражены в методике построения и использования факторной модели для применения в составе инструментального обеспечения Федеральной системы управления рисками в сфере экономики. Методика является основой для разработки соответствующей информационной технологии. Задача анализа ситуаций рисков и угроз в контексте формирования информационной технологии на основе факторной модели для использования на федеральном уровне рассмотрена впервые. При формировании факторной модели предложено использовать методологию анализа рисков, построенную на витальном подходе к исследованию субъектных систем. Раскрыто содержание основных этапов и представлена структурно-функциональная схема анализа конкретных ситуаций угроз и рисков. Основные компоненты методики: фиксация угрозы, рисков события по данным мониторинга, выбор из банка факторных моделей модели-прототипа, построение или коррекция структуры факторной модели, составление информационной модели угроз, рисков событий и их источников, выбор моделей описания факторов и их взаимодействия, организация привлечения экспертов и других источников для оценки неизвестных значений, дополнение информационной модели угрозы, рисков события и источника, параметров и исходных данных факторной модели, проведение моделирования риска с использованием факторной модели, идентификация контуров «возбуждения» риска, идентификация уязвимостей, анализ источника (субъекта) угроз и рисков, составление отчета, загрузка факторной модели в банк моделей..

**Ключевые слова:** факторная модель, концептуальная модель, угроза, риск, уязвимость, информационная технология, банк моделей.

**Цитирование:** Трошин, Д.В. Методика анализа рисков и угроз экономической безопасности в социально-экономической системе на основе факторной модели / Д.В. Трошин // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.239-252. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-239-252.

### Введение

В настоящее время развернуты работы по созданию Федеральной системы управления рисками (ФСУР) в сфере экономической безопасности<sup>1</sup>. В 2018 году в Минэкономразвития России при участии научных коллективов разработаны концептуальные основы создания ФСУР на базе научных разработок Финансового университета при Правительстве РФ, часть из которых отражена в монографиях [1, 2]. В рамках отдельных контрактов научными организациями разрабатывается ряд моделей и их программно-инструментальная реализация по заказу Минэкономразвития России [3]. «Сборка» ФСУР во многом осуществляется путём самоорганизации слабо связанных между собой субъектов-исследователей, субъектов-

<sup>1</sup> ФСУР создаётся при поддержке Минэкономразвития России в соответствии со «Стратегией экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года», утверждённой Указом Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208.

разработчиков, занимающихся созданием фрагментов системы, ориентируясь на различных потенциальных пользователей [3, с.101]. В то же время эффективная работа ФСУР предполагает организацию деятельности должностных лиц, экспертов, аналитиков в рамках стандартизированной информационной технологии (ИТ). Научной основой такой технологии является методическое обеспечение, построенное на основе системного анализа решения проблем обеспечения безопасности, в частности экономической, на основе современных подходов к описанию и исследованию сложных систем, функционирующих в условиях недетерминированной среды.

Цель создания и дальнейшего применения предлагаемой методики – повышение оперативности анализа конкретных ситуаций рисков и угроз, сокращение ошибок, избыточных действий, повышение эффективности использования накопленного опыта. Она предназначена для конкретизации порядка выполнения типовых действий эксперта, должностного лица ФСУР при анализе выявленных угроз и ситуаций риска с использованием инструментария, построенного на использовании факторных моделей и предполагаемого к реализации в рамках формируемой в настоящее время ФСУР. В работе под конкретными ситуациями рисков и угроз понимаются не отдельные состоявшиеся или предполагаемые факты возникновения рисков и угроз, зафиксированные во времени и пространстве, а ситуации, возникающие как проявления всеобщего в особенном. Здесь конкретность предполагает не уникальный экземпляр сущности, а саму сущность, т.е. ситуацию, вызванную появлением (обнаружением) угрозы и риска. Основу для идентификации и формулирования угроз предоставляет указанная Стратегия экономической безопасности Российской Федерации, однако в практической работе заданный в этом документе перечень должен быть конкретизирован. Подход к интерпретации различных событий и явлений, как угроз, частично представленный в работе [4], требует дальнейшего развития.

## **1 Общие положения**

Предлагаемая методика позволяет системно организовать процесс исследования рисков и угроз и получать результат для принятия управленческих решений. В то же время анализ конкретных ситуаций рисков и угроз является творческим процессом, который вследствие многообразия ситуаций, их аспектов и целей анализа, не может быть априорно строго описан и соответственно регламентирован. В связи с этим настоящая методика носит больше рекомендательный характер, чем директивный.

Анализ конкретных ситуаций, как правило, предполагает использование концептуальной модели источников угроз и информационной модели угроз и рисков экономической безопасности и их источников [5]. Кроме того, используются методы системного анализа, экспертных исследований, ситуационного анализа. Эффективность использования методики повышается, если её потребители творчески используют предыдущий опыт, прецеденты, типовые модели, содержащиеся в информационном пространстве ФСУР. При использовании методики, как правило, за исключением элементарных или типовых ситуаций, требуется привлечение экспертов из различных предметных областей (Про).

Методика использует различные элементы ИТ, которые ещё не созданы в составе ФСУР, однако они являются важными её компонентами в контексте постановки задачи на разработку структуры и концептуальной модели создаваемой ИТ.

Методика предусматривает непосредственное участие заинтересованного должностного лица, прежде всего лица, принимающего решение (ЛПР). Это позволяет углубить его понимание ситуации, шире использовать его предпочтения, не предлагая выбор из подготовленных решений, а вовлекая ЛПР непосредственно в подготовку решения [6].

Анализ конкретных ситуаций рисков и угроз предназначен для идентификации угроз, рисков и их источников. Эта идентификация предполагает выявление следующей информации:

- источники или субъекты угроз и рисков событий;
- время и место совершения рисков событий;
- объекты, подвергшиеся непосредственному воздействию рисков события;
- характер нанесенного ущерба;
- размер нанесенного ущерба;
- вторичные рисков события; распространение ущерба по сети взаимосвязанных объектов обеспечения экономической безопасности;
- оценка общего риска с учётом вторичных последствий;
- уязвимости на объектах защиты, через которые наносится ущерб (воздействуют рисков события).

Конкретные ситуации возникновения (проявления) угроз и рисков событий могут быть повторяющимися (типовыми), частично типовыми и уникальными (или встречающимися впервые). В первом случае используется факторная модель из банка готовых моделей; во втором выбирается наиболее подходящая модель, которая подвергается адаптации под исходные данные конкретной ситуации; в третьем случае в соответствии со специальной методикой и инструкцией по использованию программно-инструментального средства строится факторная модель конкретной ситуации. В качестве программно-инструментального средства может использоваться специализированная разработка, например, [3] или иное средство, позволяющее сопряжение с другими элементами ИТ.

При формировании факторной модели для анализа конкретных ситуаций целесообразно придерживаться методологии оценки и анализа рисков, построенной на витальном подходе с учётом постнеклассического субъектного подхода к исследованию субъектных, в частности, организационных систем<sup>2</sup>, онтологии задач обеспечения безопасности, представленных в работах [1, 7, 8] и принятых в качестве методологии создания ФСУР. Необходимо также учитывать цикл формирования ущерба, представленный на рисунке 1, который определяет логику формирования, коррекции и рассмотрения факторной модели.

Экономическая безопасность на федеральном уровне в соответствии с указанной методологией в настоящей работе определяется как отношения в системе «национальная экономика – среда», при которых вероятность потери экономических возможностей обеспечения национальной безопасности пренебрежимо мала. Здесь под средой понимается состояние внутренних институтов и отношений между различными субъектами экономической деятельности, природная среда, мировая экономика, военно-политическая ситуация, правовая ситуация, включая аспекты терроризма, диверсий и т.п. [1].

На рисунке 1 показано, что рисков события наносят ущерб через уязвимости, которые существуют в объекте защиты (в данном случае в социально-экономической системе) [9, 10]. Кроме того, на рисунке показаны меры противодействия, которые влияют на процесс осуществления цикла формирования ущерба.

Общая структурно-функциональная схема анализа конкретных ситуаций угроз и рисков экономической безопасности представлена на рисунке 2. Римскими цифрами на рисунке отмечены этапы решения задачи в их логической последовательности, а пунктиром - обратные связи возвращения к предыдущим этапам для выполнения их после уточнения задачи на последующих этапах.

<sup>2</sup> В самом общем приближении это означает: учитывать интересы и мотивы субъектов, имеющих отношение к рассматриваемой ситуации.



Рисунок 1 - Схема этапов цикла формирования ущерба

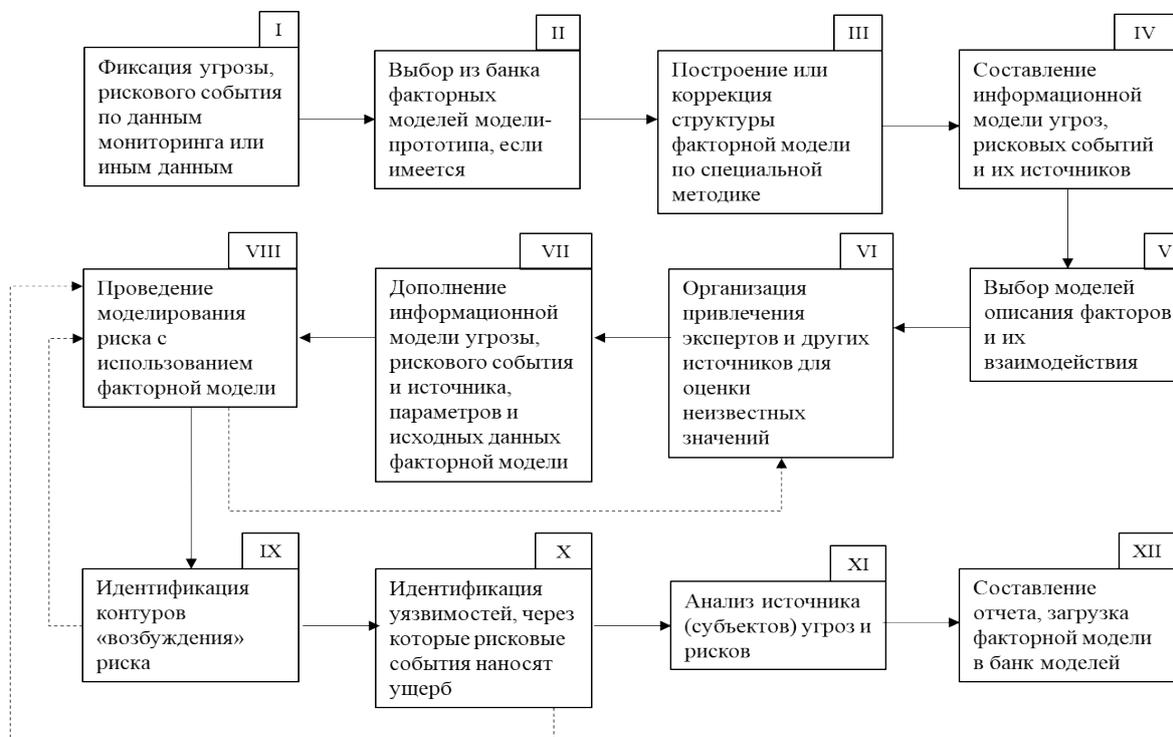


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема анализа конкретных ситуаций угроз и рисков экономической безопасности

## 2 Основное содержание методики

### 2.1 Фиксация угрозы, рисков события по данным мониторинга

В результате выполнения процедур мониторинга угроз и рисков в рамках ФСУР в соответствии с методологией ведения мониторинга в целом и, в частности, схемой комплекса механизмов мониторинга [8, 9], происходит фиксация условий и факторов, реализация которых может привести к ущербу, т.е. фиксация угрозы. Здесь необходимо подчеркнуть, что отнесение некоторых фактов объективной реальности к угрозам или рисковым событиям может носить относительный характер. Так, возникновение некоторых условий может рассматри-

ваться как угроза (в точности с определением угрозы), а может и как рисковое событие (факт образования определённых условий), ущерб от которого ещё не велик или практически отсутствует, однако вероятность нанесения ущерба при развитии этого события, возникновения его последствий - вторичных рисков событий - и т.п., может быть высока. Эта идентификация зависит от постановки задачи анализа, которая определяется сферой и масштабом деятельности ответственного сотрудника ФСУР. Единственной рекомендацией идентификации результатов наблюдения как угрозы или рискового события, является установление риска, как вероятностного описания возможного или нанесённого ущерба (даже если его конкретное описание: размер, формы, место и время - пока точно не известно). Угроза или рисковое событие является фактором, с которого начинается анализ и построение факторной модели.

## 2.2 Выбор модели-прототипа из банка факторных моделей

Для сокращения трудозатрат на решение задач, накопления опыта принятия решений и анализа конкретных ситуаций угроз и рисков целесообразно создать банк факторных моделей, в котором бы аккумулировались модели, построенные в процессе эксплуатации ФСУР. Каждая модель в таком банке должна сопровождаться метаданными, по которым аналитик мог бы быстро и однозначно находить подходящую модель-прототип. Такой банк должен быть централизованным и доступным для полномочных субъектов (аналитиков) ФСУР, в т.ч. в режиме удалённого доступа.

Выбор может осуществляться в двух случаях: эксперт знает название модели, которую намерен использовать в качестве прототипа или не знает. В первом случае он осуществляет выбор конкретной модели. Во втором - осуществляется поиск по известным метаданным прототипа (дата создания, сфера применения, наличие фактора, который рассматривается в решаемой задаче). Результаты поиска анализируются на предмет возможности их использования. Анализ включает следующие элементы.

- Соответствие найденных моделей сфере рассмотрения конкретной ситуации (например, речь идёт об угрозах в сфере кредитования добывающей промышленности, а банк моделей предоставил в качестве прототипа модель, позволяющую анализировать угрозы кредитования в сфере высокотехнологичного производства).
- Наличие в результатах поиска моделей, содержащих фактор, который при анализе ситуации рассматривается в качестве фактора ущерба (угрозы или рискового события).
- Детализация факторных моделей в результатах поиска.
- Определение статуса найденных моделей: исследовательская (элементы модели, значения параметров назначены в экспериментальных целях), рабочая (неполные, неверифицированные данные), неутверждённая (не утверждена должностным лицом или уполномоченным советом в качестве нормативно рекомендованного рабочего инструмента), утверждённая в качестве рабочего инструмента.

Модель любого статуса может быть использована в качестве прототипа, однако при наличии утверждённой модели, которая может служить в качестве модели или основы для анализа интересующей ситуации, отказ от неё требует специального обоснования и принятия решения уполномоченного на это должностного лица.

## 2.3 Построение или коррекция структуры факторной модели

Если найден подходящий прототип, то его структура подвергается коррекции в случае необходимости. Если прототип не найден, то структура факторной модели создаётся заново, начиная с фактора, который отражает исходный фактор ущерба (угроза или вызов, рисковое

событие), установленный на первой стадии. Построение факторной модели не поддается однозначной регламентации. Поэтому овладению этой методикой помогает изучение моделей, хранящихся в предполагаемом банке факторных моделей различных ситуаций.

Процедура формирования структуры факторной модели сводится к следующему. Устанавливаются факторы, включая показатели оценки состояния и развития рассматриваемой социально-экономической системы. Эта работа может осуществляться как одним экспертом, так и группой методом мозгового штурма или ситуационного анализа. Аналогичная процедура осуществляется для вновь установленных факторов до тех пор, пока в качестве новых факторов не появятся целевые показатели, по которым оценивается состояние социально-экономической системы и, в конечном итоге, ущерб.

В качестве факторов могут выступать следующие сущности:

- процессы, характеризующиеся направленностью, интенсивностью и скоростью изменения интенсивности;
- различные производственные, инфраструктурные, технические, организационные объекты и виды ресурсов в соответствии с типологией и классификацией факторов ущерба (объекты и виды ресурсов описываются показателями состояния, объема ресурсов) [4];
- мотивы конкретных субъектов экономической деятельности, прямо или косвенно влияющих на рассматриваемый фактор (под субъектами могут пониматься личности, либо коллективы. Мотив принятия решения невозможно описать объективно, для его описания используются лингвистические шкалы и знак, например, положительный, если влияние благотворное, и отрицательный, если влияние ведёт к ущербу или формирует уязвимость).

Наряду с элементами модели (факторами), которые отражают объекты социально-экономической системы, в структуру факторной модели вводятся элементы, отражающие уязвимости каждого элемента защищаемой системы. Методическими рекомендациями по отражению уязвимостей служит типология и классификация факторов ущерба в части, касающейся уязвимостей [4].

Детализация структуры определяется уровнем и компетенцией ЛПП, для которого это решение готовится (в результате детализации не должно появиться избыточных факторов). Фактор необходимо детализировать в случаях, когда разные части фактора требуют разных мер воздействия или испытывают влияние других факторов, а также если он состоит из элементов, которые по-разному реагируют на одно и то же воздействие.

Развитие структуры факторной модели осуществляется в сторону не последствий, а причин, т.е. в сторону выявления первичных причин и субъектов формирования угрозы и совершения рискованных событий. Такое развитие структуры факторной модели и её детализация определяются возможностью и полномочиями ЛПП влиять на причины и субъекты угроз. Поэтому в структуру факторной модели целесообразно вводить мотивы субъектов, меры противодействия причинам и субъектам угроз и уязвимости субъектов угроз.

## 2.4 Информационная модель угроз, рискованных событий и их источников

Составление информационной модели угрозы и рискованного события осуществляется на основе структуры информационной модели соответствующих сущностей. При этом не все данные могут быть известны. Для обмена данными между факторной моделью и информационной моделью угроз и их источников должен быть создан специальный дружественный интерфейс пользователя, автоматизирующий все рутинные операции. Состав информационной модели угроз и их источников описан в работе [11].

Состояния факторов в зависимости от их природы описываются на численных или лингвистических шкалах в результате измерений или экспертными оценками. При этом для сопо-

ставления и приведения к единой шкале измерения результатов анализа области определения значений всех факторов нормируются единым интервалом, например,  $[0; 1]$ . Так, состояние фактора «ставка рефинансирования» теоретически может описываться интервалом, например,  $[0; +\infty]$ . Однако, если эта ставка превышает норму прибыли в экономике, то кредитование становится невозможным. В связи с учётом реальной экономической ситуации устанавливается верхний допустимый предел ставки рефинансирования и область определения фактора на соответствующей ему «физической шкале», например, на интервале  $[0; 12]$ . Для использования в факторной модели значения этого диапазона нормируются интервалом  $[0; 1]$ . Реальные значения, выходящие за левую границу исходного («физического») интервала, заменяются значением «0», а выходящие за правую границу – заменяются значением «1».

В тех случаях, когда использовать объективную измеряемую в физических единицах шкалу невозможно или затруднительно, для описания факторов используются лингвистические шкалы. Полученные лингвистические значения ассоциируются со значениями из интервала  $[0; 1]$ . Так, фактор импортнезависимости экономики от какой-либо продукции в случае разрыва экономических отношений (санкций) может быть оценён по следующей шкале:

$[0; 0.1]$  – ситуация недопустимая, потребление и(или) производство некоторых ключевых видов продукции невозможно, запасов нет, нет возможности заменить поставщика в течение 1 года; требуется принятие чрезвычайных мер обеспечения экономической и, шире, национальной безопасности;

$[0.1; 0.33]$  – ситуация критическая, потребление и(или) производство некоторых ключевых видов продукции невозможно, есть запасы, есть возможность найти альтернативного поставщика в течение 1 года; требуется принятие срочных мер;

$[0.33; 0.67]$  – ситуация сложная, потребление и(или) производство некоторых ключевых видов продукции ограничено, существуют (и используются) альтернативные источники и собственное производство, требуется принятие соответствующих мер в режиме штатного управления экономикой;

$[0.67; 0.9]$  – ситуация благоприятная, потребление и(или) производство некоторых ключевых видов продукции возможно на минимально приемлемом уровне, существуют (и используются) альтернативные источники и собственное производство, однако требуется принятие дополнительных мер обеспечения этой продукцией в режиме стратегического планирования;

$[0.9; 1]$  – ситуация идеальная, обеспечивается полная импортнезависимость, осуществляется самостоятельное производство в полном объеме, или в основном, но на международных рынках существует множество альтернативных независимых поставщиков.

## 2.5 Выбор моделей описания факторов и их взаимодействия

Для описания взаимовлияния факторов могут использоваться различные модели в зависимости от природы отношений факторов и имеющихся знаний об этих отношениях. При этом для разных пар факторов могут использоваться различные модели. Здесь существуют следующие варианты.

- Использование имеющейся статистики и парных корреляций с помощью процедуры, встроенной в программный инструментарий для построения факторной модели.
- Эвристически построенные зависимости, имеющиеся в базе моделей для отношений между факторами или формируемые для решения задачи анализа конкретной ситуации. Параметры таких зависимостей (функций) могут определяться на основе статистики или экспертно. Общую эвристическую зависимость целесообразно применять для анализа ситуаций на макроуровне в среднесрочной и долгосрочной перспективе. В других случаях целесообразность и возможность её применения требует специального анализа, поскольку она позволяет, прежде всего, получать долгосрочные тенденции в крупных социально-экономических системах (минимум - субъект Федерации). Получение точных значений оценок состояния и ущерба на конкретных объектах и для конкретных субъектов экономической деятельности с её помощью затруднительно.

- Использование специальных моделей, описывающих прежде установленные зависимости между конкретной парой факторов. Эти зависимости также могут храниться в банке моделей отношений между факторами или описываться для рассматриваемой пары с использованием встроенной процедуры.
- Установление функциональных зависимостей в виде пар значений: фактор-причина и фактор-следствие.

Формирование моделей состояния факторов и отношений между ними завершается вводом исходных данных и параметров моделей, которые не включены в структуру информационной модели угроз, рисков и их источников. Часть исходных данных и параметров, а также отношений между факторами может оказаться не известной. Для их определения необходимо организовать работу по привлечению внешних источников информации.

## 2.6 Организация привлечения экспертов и других источников

Первым шагом при выполнении этапа организации привлечения экспертов и иных источников информации является идентификация возможных источников. В качестве источников могут выступать:

- эксперты;
- внешние источники статистической информации;
- объекты, подвергающиеся воздействию рисков событий;
- контролирующие органы государственной и муниципальной власти;
- материалы независимых источников,.

Привлечение экспертов осуществляется в следующем порядке.

- 1) определение ПрО, в которой требуется эксперт.
- 2) выбор экспертов из базы данных, квалификация которых соответствует требуемой ПрО.
- 3) если в базе экспертов отсутствуют данные о специалисте подходящей квалификации, то осуществляется поиск экспертов по базе научных публикаций (например, e-library) и других доступных баз, среди членов различных экспертных групп в нужной ПрО, а также среди должностных лиц соответствующей квалификации различных организаций.
- 4) определение форм привлечения эксперта в зависимости от следующих обстоятельств:
  - трудовые или договорные отношения эксперта с государственными и муниципальными органами власти, корпорациями и другими организациями;
  - независимый эксперт, т.е. не имеющий трудовых или каких-либо иных отношений, касающихся участия в анализе конкретной рассматриваемой ситуации;
  - отношение эксперта к субъектам, испытывающим риск.

В первом случае привлечение эксперта осуществляется, как правило, через официальные взаимоотношения с его работодателем или заказчиком. Отношение к государственным органам предполагает привлечение эксперта, как правило, в рамках его функциональных обязанностей. Отношение к корпорациям и иным организациям предполагает коммерческий или некоммерческий вариант привлечения эксперта в зависимости от установленных деловых отношений ФСУР с данными юридическими лицами: долгосрочный договор на оказание услуг, разовые договоры на оказание услуг, долгосрочное взаимовыгодное партнерство конкретного заинтересованного субъекта ФСУР с внешней организацией, не являющейся органом государственной или муниципальной власти.

Во втором случае отношения выстраиваются персонально с экспертом.

Третий случай возникает, когда подвергающийся воздействию угрозы и рисковому событию субъект экономической деятельности заинтересован в сотрудничестве с ФСУР по рассматриваемой ситуации предотвращения или минимизации риска. В этом случае привлече-

ние экспертов - представителей заинтересованного субъекта - осуществляется на основе партнерства с минимизацией бюрократических процедур.

Формы участия экспертов также могут быть различными и определяются следующими обстоятельствами:

- пространственная доступность экспертов;
- временная совместимость участия экспертов в группе экспертов;
- требуемая оперативность участия;
- программно-техническая оснащённость субъекта ФСУР, в котором осуществляется анализ конкретной ситуации.

Первые три обстоятельства, как правило, взаимосвязаны. Пространственная доступность предполагает удалённость эксперта от места анализа ситуации и возможность его прибытия в то время, когда необходимо его привлечение. Временная совместимость определяется возможностью согласовать время работы с экспертом и время совместной работы экспертов, что бывает довольно сложно, особенно, если требуется перемещение экспертов к общему месту проведения экспертной работы. Требуемая оперативность участия экспертов зависит от конкретной ситуации, прежде всего, темпов её развития.

Уровень программно-технической оснащённости субъекта ФСУР средствами проведения телеконференций, сетевой одновременной работы путём обмена сообщениями, проведения экспертных сессий и ситуационных анализов непосредственно в ситуационном центре субъекта ФСУР (включая средства коллективной визуализации, документирования и оперативной обработки экспертных оценок и мнений) определяет выбор формы организации работы экспертов. Основные формы организации работы экспертов следующие:

- заочное анкетирование экспертов с использованием закрытых и открытых анкет;
- проведение коллективных экспертных сессий;
- предварительное анкетирование экспертов и проведение коллективной сессии по обсуждению и уточнению результатов предварительного анкетирования.

Заочное анкетирование в зависимости от требуемой оперативности и наличия технической возможности может осуществляться путём переписки, обмена сообщениями по телекоммуникационным каналам и путём аудио- или видеосвязи.

Коллективная экспертная сессия может проводиться либо путём телеконференций, либо путём сбора экспертов для очного обсуждения с привлечением, если требуется, программно-технических средств. Коллективная сессия является средством получения качественных оценок в наиболее трудных, не поддающихся строгому рациональному анализу случаях, за счёт формирования коллективного операционного понимания ситуации [12-16].

Проведение анкетирования и экспертных сессий осуществляется в соответствии с отдельной методикой работы с экспертами. Подход к такой работе и основные положения этой методики представлены в [1].

Наиболее простым и оперативным способом работы с экспертом или их небольшой группой, формирования операционного понимания ситуации, является непосредственное участие эксперта в создании факторной модели совместно с ЛПП в интерактивном режиме.

Вне зависимости от формы привлечения и работы экспертов все их оценки и мнения должны быть задокументированы и храниться в базе данных и знаний ФСУР, которую необходимо создавать.

## 2.7 Дополнение информационной модели угрозы, рисков события и источника, параметров и исходных данных факторной модели

На этой стадии осуществляется работа с экспертами, использование информации из других источников для определения и уточнения элементов, отношений и параметров фактор-

ной модели, а также восполнения недостающей информации и данных, которые вводились в факторную модель на этапе IV (см. рисунок 2).

## 2.8 Проведение моделирования риска с использованием факторной модели

Для параметров и исходных данных, имеющих стохастический характер, может быть использовано имитационное моделирование. Стохастичность в зависимости от используемых моделей факторов и их отношений может моделироваться либо путём задания закона распределения рассматриваемого параметра или элемента исходных данных, либо путём использования датчика случайных чисел для имитации закона распределения. С помощью метода имитационного моделирования может формироваться рациональный комплекс мер противодействия угрозам и рисковому событиям в соответствии с предназначенными для этого моделями. Стохастический характер данных определяет аналитик, ответственный за решение задачи, на основании их природы и возможности наблюдения.

Варьируя значения параметров и исходных данных, целесообразно проанализировать чувствительность оценок, полученных с использованием факторной модели, к значениям этих параметров и исходных данных. В случае высокой чувствительности оценок и низкой точности исходных данных, целесообразно уточнить эти параметры и исходные данные, если это возможно, путём повторного привлечения источников информации (тех же или дополнительных) (этап VI на рисунке 2).

При моделировании целесообразно использовать различные частные модели описания факторов и отношений между ними, если на этапе V (см. рисунок 2) были альтернативные решения. Если результаты оказываются различными, то проводится анализ каждой модели и принимается решение о выборе. Если результаты моделирования существенно не совпадают с интуитивными ожиданиями ЛПР или лица, готовящего решение, то требуется пошаговый анализ формирования факторной модели и выбора исходных данных с участием этого лица.

## 2.9 Идентификация контуров «возбуждения» риска

При моделировании в структуре факторной модели могут быть выявлены контуры «возбуждения» риска, которые отражают возможность процессов самоорганизации, возникающие в исследуемой системе в результате рисковомго события и ведущие к нарастанию риска. Такой контур возникает, когда в нём произведение знаков связей (положительные и отрицательные обратные связи) оказывается положительным. Разрыв такого контура или введение в него фактора с отрицательной связью прекращает процесс самоорганизации по нарастанию риска и нанесению ущерба. Необходимость этого ставит задачу по разработке соответствующих мер дополнительно к тем, которые уже введены в факторную модель.

Поскольку не имеет значения в какой точке разрывать контур «возбуждения риска», то выбирается та точка (фактор), воздействие на которую наиболее рентабельно с точки зрения затрат, включая время, на реализацию соответствующих мер и сил их воздействия.

## 2.10 Идентификация уязвимостей

Идентификация уязвимостей осуществляется в целях разрешения конкретной анализируемой ситуации и в целях развития потенциала обеспечения существования (безопасности) для предотвращения подобных ситуаций в будущем.

*Уязвимости* – факторы, внутренне присущие защищаемой системе [9]. В факторную модель они вводятся наряду с другими факторами на стадиях формирования модели. На стадии идентификации уязвимостей проводится дополнительный анализ факторной модели с точки зрения учёта в ней уязвимостей и, если требуется, коррекция модели в целях более полного и

точного учёта уязвимостей. Уязвимости могут и не вводиться в факторную модель, если их моделирование не обязательно в силу очевидности результата, не влияет на общий результат моделирования риска или затруднительно по причинам недостатка исходных данных и знаний. Однако фиксация и описание уязвимостей в конечном документе, содержащем анализ ситуации, необходима.

Уязвимости идентифицируются и описываются в соответствии с типологией и классификацией факторов ущерба [4].

### 2.11 Анализ источников угроз и рисков

Анализ источников (субъектов) угроз и рисков осуществляется в целях организации противодействия им. С точки зрения их влияния на конечный результат анализа риска в конкретной ситуации оценивается, главным образом, степень влияния источников (субъектов) угроз на объект защиты. Эта степень должна быть учтена на предыдущих стадиях исследования данной ситуации. Анализ источников осуществляется в соответствии с концептуальной моделью источников и субъектов угроз и рисков [5]. Вначале осуществляется идентификация источника в соответствии с принятой типологией и классификацией, затем в отношении источника решаются задачи его анализа.

### 2.12 Составление отчёта, загрузка факторной модели в банк моделей

После отработки факторная модель загружается в банк моделей с соответствующим описанием метаданных (см. п.2.2). Загружается модель в банк с санкции должностного лица (электронным ключом), ответственного за администрирование банка моделей.

По результатам анализа и моделирования составляется отчёт, содержащий следующие основные разделы.

- 1) описание ситуации: угрозы и рисковые события, источники (субъекты угроз), объекты воздействия.
- 2) характер воздействия, оценка риска непосредственно на объекте воздействия, осуществлённая с помощью моделирования.
- 3) распространение риска, вторичные объекты воздействия и вторичные риски, полученные с использованием моделирования.
- 4) общая оценка риска и темп распространения ущерба.
- 5) выявленные уязвимости.
- 6) результаты моделирования противодействия угрозам и минимизации риска. Эффективность используемых мер.
- 7) необходимость введения дополнительных мер. Субъекты и «точки» их исполнения.
- 8) общий перечень мер и оценка затрат на их осуществление.
- 9) характеристика источников (субъектов) угроз и рисков в соответствии с концептуальной моделью угроз и рисков.
- 10) предложения по нейтрализации источников угроз и рисков.
- 11) прогноз развития конкретной ситуации. Прогноз повторения подобных ситуаций как в отношении данного объекта защиты, так и других.
- 12) предложения по доработке ИТ, включая средства моделирования, а также механизмы взаимодействия в рамках ФСУР, сформированные на основе выявленных недостатков при анализе рассматриваемой ситуации.

В приложение к отчёту необходимо представить:

- структуру факторной модели;
- исходные данные;

- частные модели описания факторов и их отношений;
- параметры моделей;
- результаты моделирования;
- состав привлекаемых экспертов, их оценки и мнения;
- результаты экспертных сессий;
- формы организации взаимодействия с экспертами и формы работы с экспертами;
- оценки эффективности экспертной работы;
- другие источники информации и информацию, извлечённую из них.

## **Заключение**

На основе системного анализа и основных положений моделирования анализа угроз и рисков в парадигме витального подхода сформировано описание методики анализа конкретных ситуаций в сфере экономической безопасности, которое может быть использовано для подготовки инструкций для организации работы ФСУР, при разработке ИТ анализа рисков, в частности, при формировании технического задания на разработку такой технологии. Методика может быть адаптирована для использования в управлении рисками в социально-экономической системе любого масштаба.

## **Благодарности**

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счёт бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации на 2019 год.

## **Список источников**

- [1] Экономическая безопасность России: методология, стратегическое управление, системотехника : монография / Под ред. С.Н. Сильвестрова. — Москва: РУСАЙНС, 2017. — 350 с.
- [2] Формирование институтов регулирования рисков стратегического развития: Монография / Под ред. М.А. Эскиндарова, С.Н. Сильвестрова. – М.: Когито-Центр, 2019. – 454 с.
- [3] Концепция федеральной системы управления рисками в области экономической безопасности / Сборник материалов всероссийского симпозиума «Проблемы стратегического управления», Москва. 20 февраля 2018 г. / Под ред. С.Н. Сильвестрова. М.: Когито-Центр. 2018. – 133 с.
- [4] **Трошин, Д.В.** Подход к типологии и классификации угроз и рисков экономической безопасности Российской Федерации / Д.В. Трошин // Безопасность бизнеса. №1. 2018 г. - С.18-24.
- [5] **Трошин, Д.В.** Основы концептуальной модели источников угроз экономической безопасности на национальном уровне / Д.В. Трошин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). - С.410-422. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-410-422.
- [6] **Зацаринный, А.А.** Ситуационные центры развития в полисубъектной среде / А.А. Зацаринный, Н.И. Ильин, К.К. Колин и др. // Проблемы управления. № 5, 2017. С.31-42.
- [7] **Селиванов, А.И.** Философско-методологические основания моделирования при решении прикладных экономических задач (на примере экономической безопасности) / А.И. Селиванов // Микроэкономика. 2017. №6. - С.101-106.
- [8] **Багдасарян, В.Э.** Витальный подход к сложным социальным системам/ В.Э. Багдасарян // Матер. науч. семина. «Фундаментальные вопросы развития сложных социальных систем». - М.: Научный эксперт; 2013. Вып.6. - С.7–70. - [http://rusrand.ru/files/14/08/25/140825103506\\_sss-2012-6.pdf](http://rusrand.ru/files/14/08/25/140825103506_sss-2012-6.pdf).
- [9] **Селиванов, А.И.** Категория «уязвимость» в понятийном ряду теории и практики обеспечения безопасности / А.И. Селиванов, Д.В. Трошин // Безопасность бизнеса. 2018. № 3. - С.3-11.
- [10] **Кононов, Д.А.** Региональные системы: моделирование кризисных явлений и уязвимость. Управление развитием крупномасштабных систем / Д.А. Кононов, Н.О. Пономарев, Р.О. Пономарев, М.П. Барбашев // Матер. 8-й Междунар. конф. (MLSD'2015). (Москва, 29 сент. — 1 окт. 2015 г.). В 2-х т. М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; 2015;2:13–24.

- [11] Трошин, Д.В. Структура информационной модели угроз и рисков экономической безопасности Российской Федерации и их источников / Д.В. Трошин // Безопасность бизнеса. 2019. № 2. - С.10-19.
- [12] Ерёмченко, Е.Н. Неогеография и Situational Awareness / Е.Н. Ерёмченко // Матер. конф. «Неогеография XXI-2009» X Международного Форума «Высокие технологии XXI века, Москва, 21-24 апреля 2009. - С.434-436.
- [13] Боярчук, К.А. Анализ понятия Situational Awareness / К.А. Боярчук, Е.Н. Ерёмченко, В.А. Мороз, О.А. Никонов // Неогеография. Загадки пространства-времени. January 2009. - С.5. - [https://www.researchgate.net/publication/303189533\\_Analiz\\_ponatia\\_Situational\\_Awareness\\_Russian](https://www.researchgate.net/publication/303189533_Analiz_ponatia_Situational_Awareness_Russian).
- [14] Mica, R. Endsley, Daniel, J. Garland. Situation awareness: analysis and measurement. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000, ISBN 0805821341, 9780805821345.
- [15] Army Field Manual 1-02, DoD, USA. - <https://fas.org/irp/doddir/army/fm3-05-130.pdf>.
- [16] Побываев, С.А. Мониторинг состояния экономической безопасности в контуре государственного управления России: современная теория и практика / С.А. Побываев, А.И. Селиванов и др. // Управленческие науки. № 4. 2017. С. 16-26.

## TECHNIQUE OF THE ANALYSIS OF RISKS AND THREATS OF ECONOMIC SECURITY OF THE SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEM ON THE BASIS OF FACTORIAL MODEL

D.V. Troshin

*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia  
giopup2@yandex.ru*

### Abstract

In article the main relations between the entities arising in the analysis of concrete situations of existence of threats and risks of economic security of society – from regional to the national level are considered. The steady relations are reflected in the corresponding technique of construction and use of factorial model for application as a part of tool providing the Federal risk management system in the sphere of economy at the federal level. The technique is a basis for development of the appropriate information technology. In it its novelty and originality as so far the task of the analysis of situations of risks and threats in the context of formation of information technology on the basis of factorial model and a type of the cognitive loaded count for use at the federal level was not considered consists. When forming factorial model it is recommended to use the risk analysis methodology constructed on vital approach to a research of subject systems. The maintenance of the main stages is opened and the structurally functional scheme of the analysis of concrete situations of threats and risks is submitted. Main components of a technique: fixing of threat, a risk event according to monitoring, the choice from bank of factorial models of model prototype, construction or correction of structure of factorial model, drawing up information model of threats, risk events and their sources, the choice of models of the description of factors and their interactions, the organization of involvement of experts and other sources for assessment of unknown values, addition of information model of threat, a risk event and a source, parameters and basic data of factorial model, carrying out modeling of risk about use of factorial model, identification of contours of "arousing" risk, identification of vulnerabilities, the analysis of a source (subject) of threats and risks, drawing up the report, loading of factorial model in bank of models. The technique uses conceptual model of sources of threats and risks. It assumes creative approach to the analysis and flexibility depending on conditions and the purposes of the analysis.

*Key words: factorial model, conceptual model, threat, risk, vulnerability, information technology, bank of models*

*Citation: Troshin DV. Technique of the analysis of risks and threats of economic security of the social and economic system on the basis of factorial model [In Russian]. Ontology of designing. 2019; 9(2): 239-252. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-239-252.*

### Acknowledgment

The article was prepared based on the results of research carried out at the expense of budget funds according to the 2019 State Task of Financial University.

## References

- [1] Economic security of Russia: methodology, strategic management, system engineering: monograph [In Russian]. Ed. by S.N. Silvestrov. — Moscow: RUSAYNS, 2017. — 350 p.
- [2] Institution-building risk management strategic development: Monograph [In Russian]. Ed. By M.A. Eskindarov, S.N. Silvestrov. — M.: Kogito-Tsentr, 2019. — 454 p.
- [3] The concept of the Federal risk management system in the field of economic security [In Russian]. Proceedings of the all-Russian Symposium "Problems of strategic management", Moscow. 20 Feb 2018. Ed. by S.N. Silvestrov. M.: Kogito-Tsentr. 2018. 133 p.
- [4] **Troshin DV**. Approach to the typology and classification of threats and risks of economic security of the Russian Federation [In Russian]. *Business Security*. - 2018; 1: 18-24.
- [5] **Troshin DV**. Bases of conceptual model of sources of threats of economic security at the national level [In Russian]. *Ontology of designing*. — 2017; 4(26): 410-422. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-410-422.
- [6] **Zatsarinny AA, et al.** Situational centers of the development in polysubject environment [In Russian]. *Control science*. - 2017; 5: 31-42.
- [7] **Selivanov AI**. Philosophical and methodological bases of modeling in solving applied economic problems (on the example of economic security) [In Russian]. *Microeconomics*. - 2017; 6: 101-106.
- [8] **Baghdasaryan VE**. Vital approach to complex social systems [In Russian]. Materials of the scientific seminar. "Fundamental issues of development of complex social systems". *Scientific expert*; 2013; 6: 7–70. - [http://rusrand.ru/files/14/08/25/140825103506\\_sss-2012-6.pdf](http://rusrand.ru/files/14/08/25/140825103506_sss-2012-6.pdf).
- [9] **Selivanov AI, Troshin DV**. Category of "vulnerability" in the concept list of the theory and practice of security enforcement [In Russian]. *Business Security*. - 2018; 3: 3-11.
- [10] **Kononov DA, et al.** Regional systems: modeling of crisis phenomena and vulnerability [in Russian]. Management of large-scale systems development. 8-th Intern. Conf. (MLSD'2015). (Moscow, 29 September. — 1 Oct. 2015). In 2 v. M.: In-t problems of its management. V.A. Trapeznikov Academy of Sciences; 2015; 2: 13-24.
- [11] **Troshin DV**. Structure of information model of threats and risks of economic security of the Russian Federation and their sources [In Russian]. *Business Security*. - 2019; 2: 10-19.
- [12] **Eremchenko EN**. Neogeography and Situational Awareness [in Russian]. Proceedings of the conference "Neogeography XXI-2009". X International Forum "High technologies of the XXI century, Moscow, April 21-24, 2009, p. 434-436.
- [13] **Boyarchuk KA, et al.** Analysis of the concept of Situational Awareness [In Russian]. January 2009. - [https://www.researchgate.net/publication/303189533\\_Analiz\\_ponatia\\_Situational\\_Awareness\\_Russian](https://www.researchgate.net/publication/303189533_Analiz_ponatia_Situational_Awareness_Russian).
- [14] **Endsley MR, Garland DJ**. Situation awareness: analysis and measurement. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000, ISBN 0805821341, 9780805821345.
- [15] Army Field Manual 1-02, DoD, USA. - <https://fas.org/irp/doddir/army/fm3-05-130.pdf>
- [16] **Pobyvayev SA, et al.** Monitoring of a condition of economic security in a contour of public administration of Russia: modern theory and practice [In Russian]. *Management sciences*. - 2017; 4: 16–26.

## Сведения об авторе



**Трошин Дмитрий Владимирович**, 1960 г. рождения. Окончил Военный инженерный Краснознамённый институт им. А.Ф. Можайского в 1982 г., к.т.н. (2000). Ведущий научный сотрудник Института экономической политики и проблем экономической безопасности Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных трудов более 80 работ в области поддержки принятия решения, системного анализа, экономической безопасности.

**Dmitry Vladimirovich Troshin**, (b. 1960) graduated from Military Engineering Institute named after A.F. Mozhaysky in 1982, PhD (2000). He is Leading researcher of Institute of Economic Policy and Problems of Economic Security of the Financial University under the Government of the Russian Federation. He is co-author above 80 works in the field of support of decision-making, the system analysis, economic security.

# HOW TO EXPLAIN THE EFFICIENCY OF TRIANGULAR AND TRAPEZOID MEMBERSHIP FUNCTIONS IN APPLICATIONS TO DESIGN

A. Gholamy<sup>1</sup>, O. Kosheleva<sup>2</sup>, V. Kreinovich<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geological Sciences, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas. 79968, USA  
afshingholamy@gmail.com

<sup>2</sup> Department of Teacher Education, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas. 79968, USA  
olgak@utep.edu

<sup>3</sup> Department of Computer Science, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas. 79968, USA  
vladik@utep.edu

## Abstract

It is well known that expert knowledge is very important for solving design problems. However, expert knowledge is not easy to describe in precise terms, since experts often use imprecise (“fuzzy”) words from natural language such as “small” or “large”. In order to describe such knowledge in precise terms – which would be understandable to a computer – Lotfi Zadeh came up with a special methodology that he called *fuzzy*. This methodology had many successful applications, in particular, applications to design. The first stage of the general fuzzy methodology is eliciting, from the expert, a *membership function* corresponding to each imprecise term, i.e., a function that assigns, to each possible value of the corresponding quantity, a degree to which this value satisfies this property (e.g., a degree to which, in the expert's opinion, this given value is small). If we follow the expert's opinion very closely, we often come up with very complex membership functions. However, surprisingly, in many applications, the simplest membership functions - of triangular or trapezoid shape - turned out to be more efficient than the supposedly more adequate complex ones. This is counterintuitive: the closer we follow the expert's opinion, the worse our result. Some explanations for this seemingly counterintuitive phenomenon have been proposed earlier. However, these explanations only work when we use the simplest possible “and”-operation – minimum, while this phenomenon has been observed for other “and”-operations as well. In this paper, we provide a new, more general explanation for the above phenomenon, an explanation that works for all possible “and”-operations.

**Key words:** expert knowledge, fuzzy methodology, complicated membership functions, trapezoid membership functions, triangular membership functions.

**Citation:** Gholamy A., Kosheleva O., Kreinovich V. How to explain the efficiency of triangular and trapezoid membership functions in applications to design. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 253-260. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-253-260.

## Introduction

For engineering design, expert knowledge is often important. In many engineering design problems, it is often very important to take into account the opinion of the human experts.

*Expert knowledge is not easy to take into account.* Taking into account expert's knowledge is not always easy, since experts often formulate their knowledge not in precise computer-understandable terms, but by using imprecise (fuzzy) words from natural language such as “small”, “approximately”, “close”, etc. To take imprecise expert knowledge into account, Lotfi Zadeh came up with special fuzzy techniques [1-6].

## 1 First stage of fuzzy methodology: eliciting membership functions.

In the fuzzy approach, first, we describe the meaning of the corresponding natural-language words in precise numerical terms. For this purpose, for each such word (e.g., for the word “small”):

- We provide the expert with several possible values  $x$  of the corresponding quantity,
- For each of these values, we ask the expert to mark a point, on a scale from 0 to 1, to what extent the given value satisfies this property (e.g., to what extent this value is small).

The resulting points  $\mu_p(x) \in [0,1]$  corresponding to different values  $x$  form what is called a membership function or a fuzzy set describing the corresponding natural-language property  $P$ .

## 2 Second stage of fuzzy methodology: combining membership degrees

An additional problem stems from the fact that many expert rules have several conditions: e.g., “if the road will have heavy traffic and the region experiences drastic changes from freezing to thawing, then the road pavement must be made reasonably resilient to such changes.” The condition to this rule contains two imprecise natural-language words: “heavy” and “drastic”. In the ideal world,

- In addition to asking the experts for all possible values of  $\mu_{heavy}(t)$  and  $\mu_{drastic}(c)$ ,
- we should also ask, for all possible combinations of traffic  $t$  and temperature change  $c$ , to what extent the above condition is satisfied for the corresponding pair  $(t, c)$ .

However, in practice, already asking the expert about all possible values of one quantity takes a long time. So, asking the expert about all possible pairs is not realistically possible.

Since we cannot elicit, from the expert, the degree to which each pair satisfies the corresponding condition, we must therefore estimate this degree based on what we know, i.e., on the degrees to which the traffic is heavy and to which the temperature change is drastic. In general, we know the degrees  $a$  and  $b$  to which imprecise statements  $A$  and  $B$  are true, and based on these degrees, we need to estimate the degree to which the “and”-combination  $A \& B$  is true. Let us denote the corresponding estimate by  $f_{\&}(a, b)$ .

The algorithm that computes these estimates based on the two given degrees is known as an “and”-operation or a t-norm. The t-norm has to satisfy several reasonable properties. For example, since  $A \& B$  means the same as  $B \& A$ , we expect that the estimates for these two “and”-combinations should be the same, i.e., that  $f_{\&}(a, b) = f_{\&}(b, a)$  for all  $a$  and  $b$ .

Similarly, since  $A \& (B \& C)$  and  $(A \& B) \& C$  mean the same, we expect that the resulting estimates are equal, i.e., that  $f_{\&}(a, f_{\&}(b, c)) = f_{\&}(f_{\&}(a, b), c)$  for all  $a, b$ , and  $c$ .

All t-norms that satisfy all these properties are known. The most widely used “and”-operations are  $f_{\&}(a, b) = \min(a, b)$  and  $f_{\&}(a, b) = a \cdot b$ , but many other operations are also used.

## 3 Triangular and trapezoid membership functions are usually very efficient

In principle, if we ask an expert, we can get different shapes of membership functions. In the beginning, practitioners tried to describe these membership functions as accurately as possible. However, it soon turned out that in most applications, it is sufficient to consider simple membership functions whose graphs have triangular or trapezoid shape (See Figure 1).

To be more precise, triangular membership functions are the following functions which are different from 0 on an interval  $[\underline{x}, \bar{x}]$  with midpoint  $\tilde{x}$ :

- they linearly increase from 0 to 1 when  $x$  is smaller than the midpoint  $\tilde{x}$  and then
- they linearly decrease from 1 to 0 when  $x$  is larger than the midpoint  $\tilde{x}$ .
- In precise terms:
  - $\mu(x) = \frac{x - \underline{x}}{\tilde{x} - \underline{x}}$  when  $\underline{x} \leq x \leq \tilde{x}$
  - $\mu(x) = \frac{\bar{x} - x}{\bar{x} - \tilde{x}}$  when  $\tilde{x} \leq x \leq \bar{x}$
  - $\mu(x) = 0$  when  $x < \underline{x}$  and or when  $x > \bar{x}$ .

Trapezoid membership functions also have an interval in the middle when the function is identically equal to 1. To be more precise, we select four values  $\underline{x} < \underline{t} < \bar{t} < \bar{x}$  and then we take:

- $\mu(x) = 0$  when  $x \leq \underline{x}$
- $\mu(x) = \frac{x - \underline{x}}{\underline{t} - \underline{x}}$  when  $\underline{x} \leq x \leq \underline{t}$
- $\mu(x) = 1$  when  $\underline{t} \leq x \leq \bar{t}$
- $\mu(x) = \frac{\bar{x} - x}{\bar{x} - \bar{t}}$  when  $\bar{t} \leq x \leq \bar{x}$
- $\mu(x) = 0$  when  $x \geq \bar{x}$

*Open problem: why are these membership functions efficient?* While empirical evidence shows that triangular and trapezoid membership functions are efficient in many engineering applications, there is still no convincing general explanation for this empirical efficiency.

A partial explanation was provided in [7], but this explanation is only valid when we use a minimum t-norm. In this paper, we show that a similar explanation can be made general by extending it to general “and”-operations.

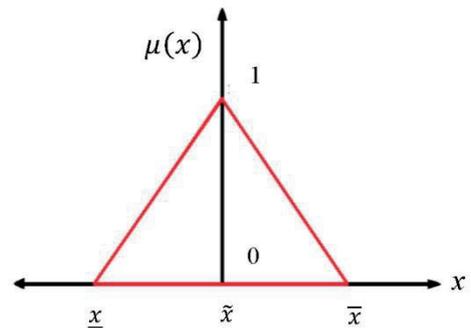
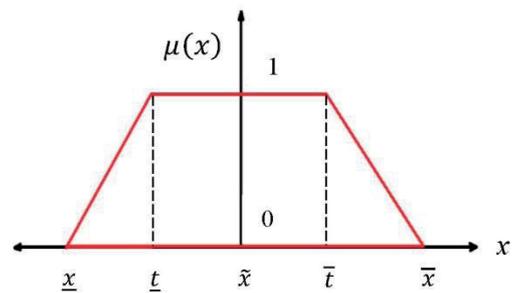


Figure 1 - Graphs of membership functions have triangular or trapezoid shape

#### 4 Main idea behind known partial explanation: a brief reminder

To explain this main idea, let us recall, in some detail how membership functions are usually elicited.

*Elicitation of membership functions: first step.* Usually, for each property, there is a threshold  $\underline{x}$  below which, according to the expert, the corresponding property is definitely not satisfied. For example, experts may have different opinions on what constitutes warm, but for every expert, there is a temperature below which it is clearly not warm. For some people from the North, this threshold may be 14 C, for people from the tropics, even 19 C may be chilly, so for them it will be around 22 C, but there is such threshold for every expert.

In precise terms, this means that  $\mu(x) = 0$  when  $x \leq \underline{x}$ .

*Elicitation of membership functions: second step.* Similarly, there exists a threshold  $\bar{x}$  above which the corresponding property is definitely not satisfied. This means that  $\mu(x) = 0$  when  $x \geq \bar{x}$ .

*Elicitation of membership functions: third step.* There also usually exist values for which the corresponding property is definitely satisfied. For example, for “warm”, most people will agree that 25 C is warm.

Sometimes, there is a single value  $\tilde{x}$  for which the original property is definitely satisfied. Sometimes, there is a whole interval of values  $[\underline{t}, \bar{t}]$  for all of which the given property is definitely satisfied. For all such values  $x$ , we have  $\mu(x) = 1$ .

*Elicitation of membership functions: fourth step.* For the intervals  $[\underline{x}, \tilde{x}]$  and  $[\tilde{x}, \bar{x}]$  (or, alternatively,  $[\underline{x}, \underline{t}]$  and  $[\bar{t}, \bar{x}]$ ), the membership degrees change from 0 to 1 and then from 1 to 0. These are the values that we need to elicit from the expert.

For each of the intervals, to elicit these values, we provide the expert with several values

$$x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n$$

from the corresponding interval - where  $x_0$  and  $x_n$  are the interval's endpoints - and elicit the corresponding membership degrees  $\mu_i \stackrel{\text{def}}{=} \mu(x_i)$  for  $i = 1, \dots, x_n$  (the values  $\mu_0$  and  $\mu_n$  corresponding to endpoints are known). Usually, the values  $x_i$  are equally spaced:  $x_1 - x_0 = x_2 - x_1 = \dots$ , so that  $\mu_i = \mu_0 + i \cdot h$ , where we denoted  $h \stackrel{\text{def}}{=} x_1 - x_0$ .

*Main idea behind the known (partial) explanation of the effectiveness of triangular and trapezoid membership functions.* When the value  $x'$  is close to the value  $x$  ( $x' \approx x$ ), we do not expect that the expert's degree of confidence  $\mu(x')$  that  $x'$  satisfies the given property to be much different from the expert's degree of confidence  $\mu(x)$  that the original value  $x$  satisfies this property: we should have  $\mu(x) \approx \mu(x')$ . For example: **if**  $x$  is reasonably small, and  $x'$  is close to  $x$ , **then** it is reasonable to conclude that  $x'$  should also be reasonably small - with almost the same degree of smallness as  $x$ .

In other words, if  $x$  and  $x'$  are close, then the values  $\mu(x)$  and  $\mu(x')$  should also be close. For large  $n$ , the differences between  $x_{i-1}$  and  $x_i$  are small, so  $x_{i-1}$  is close to  $x_i$ . Thus, we conclude that for every  $i$ , the values  $\mu_{i-1}$  and  $\mu_i$  should be close.

The more this property is satisfied, the more it is reasonable that the values  $\mu_i$  adequately describe the expert's knowledge. It thus makes sense to select the values  $\mu_i$  that satisfy the above property to the largest possible degree. In precise terms: **for** each possible sequence of the values  $\mu_i$ , we can find the degree to which the above property is satisfied, and **then** as the most adequate description of the expert's knowledge, we select the values  $\mu_i$  for which this degree is the largest possible.

How can we describe this degree? What does it mean that two values  $\mu_{i-1}$  and  $\mu_i$  are close? Intuitively, it means that the absolute value of their difference  $|\mu_i - \mu_{i-1}|$  is small. Let  $s(v)$  denote the membership function corresponding to "small". Then, for each  $i$  the degree to which  $\mu_i$  and  $\mu_{i-1}$  are close is equal to  $s(|\mu_i - \mu_{i-1}|)$ , and the degree to which this closeness condition is satisfied for  $i = 1$  and for  $i = 2$ , etc., is equal to

$$(1) \quad f_{\&}(s(|\mu_1 - \mu_0|), s(|\mu_2 - \mu_1|), \dots, s(|\mu_n - \mu_{n-1}|))$$

for an appropriate "and"-operation  $f_{\&}(a, b)$ .

We must find the values  $\mu_1, \dots, \mu_{n-1}$  for which the expression (1) attains the largest possible value.

## 5 Analysis of the problem and the resulting justification

*It is reasonable to expect that this optimization problem has a unique solution.* In engineering problems, in principle, we may have optimality criteria that allow many different solutions. For the same problem, we have several solutions which are equally good according to the selected criterion. However, from the practical viewpoint, this means that the corresponding criterion is not final.

For example, if we have several plane designs with similar energy consumption and similar manufacturing and exploitation costs, this means that we can select, among these designs, the one with the smallest negative effect on the environment - and thus narrow down the set of all optimal designs. Eventually, we will end up with a final optimality criterion for which exactly one alternative is optimal. From this viewpoint, it is reasonable to require that our criterion (1) is, in this sense, final - i.e., that it leads to the unique selection of the corresponding membership degrees  $\mu_i$ .

Let us describe this requirement in precise terms.

### Definition 1

- By a membership function, we will (as usual) mean a mapping  $s(v)$  from real numbers to the interval  $[0,1]$ .
- By an  $n$ -aggregation operation, we mean a function  $f(a_1, \dots, a_n)$  of  $n$  variables  $a_i \in [0,1]$  with values from  $[0,1]$  which is symmetric, i.e., for which:

$$f(a_1, \dots, a_n) = f(a_{\pi(1)}, \dots, a_{\pi(n)})$$

for all  $a_i$  and for any permutation  $\pi$ .

- We say that a pair  $\langle f_{\&}, s \rangle$ , where  $f_{\&}$  is an  $n$ -aggregation operation and  $s$  is a membership function, is final for increasing sequences if there exists exactly one sequence of values  $\mu_0 = 0 < \mu_1 < \mu_2 < \dots < \mu_n = 1$  for which the expression (1) attains its largest possible value. The corresponding sequence  $\mu_i$  will be called the optimal increasing sequence.

**Proposition 1**

For every pair  $\langle f_{\&}, s \rangle$  which is final for increasing sequences, the optimal increasing sequence has the form  $\mu_i = \frac{i}{n}$ .

*Comments*

- For reader's convenience, the proof is given in the special (last) Proofs section.
- According to this result, for the optimal increasing section of the membership function, we have  $\mu(x_i) = \mu(x_0 + i \cdot h) = \mu_i = \frac{i}{n}$ . Let us describe  $\mu(x_i)$  in terms of  $x_i$ .  
From  $x_i = x_0 + i \cdot h$ , we conclude that  $i = \frac{x_i - x_0}{h}$ , thus  $\mu(x_i) = \frac{x_i - x_0}{n \cdot h}$ , i.e.,  $\mu(x_i) = a \cdot x_i + b$  where  $a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{n \cdot h}$  and  $b \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{x_0}{n \cdot h}$ . So, the optimal membership function  $\mu(x)$  on the interval  $[x, \tilde{x}]$  is a linear function that takes the value 0 for  $x = \underline{x}$ , and the value 1 for  $x = \tilde{x}$ , thus,  $\mu(x) = \frac{x - \underline{x}}{\tilde{x} - \underline{x}}$ . This is exactly the increasing linear segment that we have been trying to explain.
- Proposition 1 does not require that the  $n$ -aggregation operation is minimum - it can be any t-norm. Moreover, we do not even require that this operation be a t-norm: we do not require its associativity or monotonicity. So, our result is even more general than what we wanted.
- A similar result holds for optimal decreasing sequences.

**Definition 2**

We say that a pair  $\langle f_{\&}, s \rangle$ , where  $f_{\&}$  is an  $n$ -aggregation operation and  $s$  is a membership function, is final for decreasing sequences if there exists exactly one sequence of values  $\mu_0 = 1 > \mu_1 > \mu_2 > \dots > \mu_n = 0$  for which the expression (1) attains its largest possible value. The corresponding sequence  $\mu_i$  will be called the optimal decreasing sequence.

**Proposition 2**

For every pair  $\langle f_{\&}, s \rangle$ , which is final for decreasing sequences, the optimal decreasing sequence has the form  $\mu_i = 1 - \frac{i}{n}$ .

*Comment*

According to this result, for the optimal decreasing section of the membership function, we have  $\mu(x_i) = \mu(x_0 + i \cdot h) = \mu_i = 1 - \frac{i}{n}$ . Let us describe  $\mu(x_i)$  in terms of  $x_i$ . From  $x_i = x_0 + i \cdot h$ , we have  $i = \frac{x_i - x_0}{h}$ , thus  $\mu(x_i) = 1 - \frac{x_i - x_0}{n \cdot h}$ , i.e.,  $\mu(x_i) = a \cdot x_i + b$ , where  $a \stackrel{\text{def}}{=} -\frac{1}{n \cdot h}$  and  $b \stackrel{\text{def}}{=} 1 + \frac{x_0}{n \cdot h}$ .

So, the optimal decreasing membership function  $\mu(x)$  on the interval  $[\tilde{x}, \bar{x}]$ , is a linear function that takes the value 1 for  $x = \tilde{x}$ , and the value 0 for  $x = \bar{x}$ , thus,  $\mu(x) = \frac{\bar{x} - x}{\bar{x} - \tilde{x}}$ . This is exactly the decreasing linear segment that we have been trying to explain.

**6 Proof of Propositions 1 and 2**

It is sufficient to prove Proposition 1, the proof of Proposition 2 is similar.

Let us prove, by contradiction, that for the optimal increasing sequence  $\mu_i$ , we have  $\mu_1 - \mu_0 = \mu_2 - \mu_1 = \dots$ , i.e., that all the differences  $\Delta_i \stackrel{\text{def}}{=} \mu_i - \mu_{i-1}$  are equal to each other.

Indeed, assume that some of these differences are different, i.e.,  $\Delta_{i'} \neq \Delta_{i''}$  for some  $i'$  and  $i''$ . Without losing generality, we can assume that  $i' < i''$ . In this case, we can form the following auxiliary sequence  $\mu'_i$ .

- for  $i < i'$ , we take  $\mu'_i = \mu_i$ ;

- for  $i = i'$ , we take  $\mu'_{i'} = \mu_{i'-1} + \Delta_{i''}$ ;
- when  $i' < i < i''$ , we take  $\mu'_i = \mu_i + (\Delta_{i''} - \Delta_{i'})$ ;
- finally, for  $i \geq i''$ , we again take  $\mu'_i = \mu_i$ .

This sequence is different from the original sequence  $\mu_i$ , since  $\Delta_{i'} \neq \Delta_{i''}$  and thus,

$$\mu'_{i'} = \mu_{i'-1} + \Delta_{i''} \neq \mu'_{i'} = \mu_{i'-1} + \Delta_{i'} = \mu_{i'}$$

On the other hand, the differences  $\Delta'_i \stackrel{\text{def}}{=} \mu'_i - \mu'_{i-1}$  corresponding to the new sequence has the following form:

- for  $i < i'$ , we have  $\Delta'_i = \Delta_i$ ,
- for  $i = i'$ , we have  $\Delta'_{i'} = \Delta_{i''}$ ;
- when  $i' < i < i''$ , we get  $\Delta'_i = \Delta_i$ ;
- for  $i = i''$ , we get  $\Delta'_{i''} = \Delta_{i''}$ ; and
- for  $i > i''$ , we again get  $\Delta'_i = \Delta_i$ .

Thus, the new sequence of differences  $\Delta'_i$  is obtained from the original sequence of differences  $\Delta_i$  by an appropriate permutation  $\pi$ : namely, by a permutation that swaps the indices  $i'$  and  $i''$  and leaves all the other indices unchanged. Thus, the values  $s(\Delta'_i) = s(|\mu'_i - \mu'_{i-1}|)$  are also obtained from the values  $s(\Delta_i) = s(|\mu_i - \mu_{i-1}|)$  by a similar permutation.

Since we assumed that the n-aggregation operation is symmetric, i.e., that the result of applying this operation does not change if we simply permute the inputs, we thus conclude that

$$(2) \quad \begin{aligned} f_{\&}(s(|\mu'_1 - \mu'_0|), s(|\mu'_2 - \mu'_1|), \dots, s(|\mu'_n - \mu'_{n-1}|)) \\ = f_{\&}(s(|\mu_1 - \mu_0|), s(|\mu_2 - \mu_1|), \dots, s(|\mu_n - \mu_{n-1}|)) \end{aligned}$$

i.e., that the expression (1) attains the same value for both sequences  $\mu_i$  and  $\mu'_i$ .

Since we assumed that the sequence  $\mu_i$  is optimal, this means that for this sequence, the value of the expression (1) is the largest possible. Thus, the above equality (2) shows that the value of the expression (1) for the new sequence  $\mu'_i$  is also optimal. So, we have two different sequences  $\mu_i$  and  $\mu'_i$  on which the expression (1) attains its maximum – which contradicts to our assumption that the pair  $(f_{\&}, s)$  is final for increasing sequences.

This contradiction shows that the differences  $\Delta_i$  cannot be different, so they are all equal:

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n, \text{ i.e., } \mu_1 - \mu_0 = \mu_2 - \mu_1 = \dots = \Delta_1$$

Thus:

- From  $\mu_0 = 0$ , we conclude that  $\mu_1 = \Delta_1$ .
- From  $\mu_2 - \mu_1 = \Delta_1$ , we conclude that  $\mu_2 = \mu_1 + \Delta_1 = 2\Delta_1$ .
- By induction, once we have shown that  $\mu_i = i \cdot \Delta_1$ , we can conclude that  $\mu_{i+1} = \mu_i + i \cdot \Delta_1 + \Delta_1$  and thus, that  $\mu_{i+1} = (i + 1) \cdot \Delta_1$ .
- So, we conclude that  $\mu_i = i \cdot \Delta_1$  for all  $i$ .
- In particular, for  $i = n$ , we conclude that  $\mu_n = n \cdot \Delta_1$ , hence  $\Delta_1 = \frac{1}{n}$  and thus,

$$\mu_i = i \cdot \Delta_1 = \frac{i}{n}.$$

The proposition is proven.

## Acknowledgments

This work was supported in part by US National Science Foundation grant HRD-1242122 (Cyber-ShARE Center).

The authors are thankful to Professor N. Borgest for his encouragement and valuable discussions.

## References

- [1] *Zadeh LA*. Fuzzy sets. *Information and Control*. - 1965; 8: 338–353.
- [2] *Klir GJ, Yuan Bo*. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 1995. – 592 p.
- [3] *Novak V, Perfilieva I, Mockor J*. Mathematical Principles of Fuzzy Logic. Kluwer, Boston, Dordrecht. 1999. (Математические принципы нечёткой логики / Новак В., Перфильева И., Мочкор Ж. //Пер с англ.; Под ред. Аверкина А.Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.)
- [4] *Nguyen HT, Walker EA*. A First Course in Fuzzy Logic. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida. 2006. - 430 p.
- [5] *Belohlavek R, Dauben JW, Klir GJ*. Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective. Oxford University Press, New York. 2017. – 522 p. - <https://b-ok.org/book/2925381/efa85d>.
- [6] *Mendel JM*. Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions. Springer, Cham, Switzerland. 2017. - <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51370-6>.
- [7] *Kosheleva O, Kreinovich V, Shahbazova S*. Type-2 Fuzzy Analysis Explains Ubiquity of Triangular and Trapezoid Membership Functions, Proceedings of the World Conference on Soft Computing, Baku, Azerbaijan, May 29–31. 2018.

## КАК ОБЪЯСНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕУГОЛЬНЫХ И ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В ПРИЛОЖЕНИЯХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

А. Голами<sup>1</sup>, О. Кошелева<sup>2</sup>, В. Крейнович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Кафедра геологических наук, Техасский университет – Эль Пасо, Эль Пасо, Техас, 79968, США, [afshingholamy@gmail.com](mailto:afshingholamy@gmail.com)

<sup>2</sup> Кафедра подготовки учителей, Техасский университет – Эль Пасо, Эль Пасо, Техас, 79968, США, [olgak@utep.edu](mailto:olgak@utep.edu)

<sup>3</sup> Кафедра информатики, Техасский университет – Эль Пасо, Эль Пасо, Техас, 79968, США, [vladik@utep.edu](mailto:vladik@utep.edu)

### Аннотация

Хорошо известно, что знания экспертов очень важны для решения задач проектирования. Однако эти знания не так просто описать в чётких терминах, так как эксперты часто используют нечёткие слова, такие как „небольшой“ или „большой“. Чтобы описывать такого типа знание в чётких терминах – терминах понятных компьютеру - Лотфи Задэ придумал специальную методологию, которую он назвал методологией нечётких множеств. Эта методология имеет много приложений, в частности в проектировании. Первая стадия этой методологии состоит в том, чтобы „извлечь“ из экспертов функции принадлежности соответствующие различным нечётким терминам. Такая функция сопоставляет каждому возможному значению соответствующей физической величины число, выражающее - до какой степени это значение удовлетворяет данному свойству (например, до какой степени можно сказать, что это значение небольшое). Если попытаться очень точно отразить мнение эксперта, то часто получают очень сложную функцию принадлежности. Однако на практике гораздо лучшие результаты получаются, когда используются простейшие функции принадлежности: треугольные и трапециевидные. На первый взгляд, это противоречит нашей интуиции: чем точнее описывают мнение эксперта, тем хуже получается результат. Исследователи придумали объяснение этого странного феномена, но это объяснение работает только когда для описания логической „и“-операции используется минимум, в то время как этот феномен наблюдается и когда используются другие „и“-операции. В настоящей статье приводится новое более общее объяснение, которое применимо для всех возможных „и“-операций.

**Ключевые слова:** экспертные знания, методология нечётких множеств, сложные функции принадлежности, трапециевидные функции принадлежности, треугольные функции принадлежности.

**Цитирование:** Голами, А. Как объяснить эффективность треугольных и трапециевидных функций принадлежности в приложениях к проектированию / А. Голами, О. Кошелева, В. Крейнович // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.253-260. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-253-260.

## Благодарности

Работа частично поддержана грантом Национального научного фонда США HRD-1242122 (Cyber-ShARE Center). Авторы благодарны профессору Н. Боргесту за поддержку и ценные обсуждения.

## Сведения об авторах



**Афшин Голами** (1979 г.р.) получил диплом магистра по геофизике полезных ископаемых, со специализацией по сейсмологии Тегеранского университета в Иране в 2010 г. Второй диплом магистра и диплом Доктора философии по вычислительной геофизике он получил в Техасском университете Эль Пасо в 2014 и 2018 гг. Его научные результаты включают вейвлетный анализ сейсмических сигналов. Он активно участвовал в междисциплинарном проекте по оптимизации процесса уплотнения дорожного покрытия.

**Afshin Gholami** (b 1979) received his MS in exploration geophysics with concentration in seismology from University of Tehran, Iran in 2010, his second MS and PhD in computational geophysics from the University of Texas at El Paso, USA in 2014 and 2018. During his doctoral studies, he worked on wavelet analysis of seismic signals and provided theoretical proof to

the success of Ricker wavelets in seismic data processing. He also participated in an interdisciplinary research effort to study and optimize intelligent compaction of soil system.



**Ольга Кошелева** (1956 г.р.) получила диплом математика Новосибирского университета в 1978 г., диплом магистра по информатике в Техасском университете в Эль Пасо в 1994 г. и диплом Доктора философии по вычислительной технике в этом же университете в 2003 г. С 1990 г. она работает в Техасском университете в Эль Пасо. Она работала приглашенным исследователем в Эйлеровском международном математическом институте в С. Петербурге (2002) и в Католическом университете в Пелотас, Бразилия (2003-2004). Она опубликовала научную монографию, более 50 глав в научных сборниках, более 220 научных статей в журналах и более 190 статей в реферируемых трудах конференций.

**Olga Koshelova** (b 1956) received her M.Sc. in Mathematics from Novosibirsk University, Russia, in 1978, and M.Sc. in Computer Science (1994) and Ph.D. in Computer Engineering (2003)

from the University of Texas at El Paso. Since 1990, she is with the University of Texas at El Paso. She also served as a Visiting Researcher with the Euler International Mathematical Institute, St. Petersburg, Russia (2002), and with the Catholic University of Pelotas, Brazil (2003-2004). Main current interest: applications of information technology, especially applications to education in mathematics, science, and engineering. Published a research monograph, more than 50 book chapters, more than 220 journal papers, and more than 190 papers in refereed conference proceedings.



**Владик Крейнович** (1952 г.р.) получил диплом по математике и информатике в С. Петербургском (Ленинградском) университете в 1974 г. и диплом кандидата наук в Институте математики Сибирского отделения Академии наук в Новосибирске в 1979 г. С 1990 г. работает на кафедре информатики Техасского университета в Эль Пасо. Работал приглашенным исследователем в Париже, Ганновере, Гонконге, С. Петербурге и в Бразилии. Опубликовал семь монографий, более 1400 научных статей, редактировал 20 сборников статей. Владик - член редколлегии журнала «Надёжные вычисления» и других журналов, Вице-президент Международной ассоциации по Нечётким множествам и Вице-президент Европейского общества по нечётной логике и её приложениям; Действительный член Мексиканского общества по Искусственному интеллекту. - <http://www.cs.utep.edu/vladik/>.

**Vladik Kreinovich** (b 1952) received his MS in Mathematics and Computer Science from St.

Petersburg University, Russia, in 1974, and PhD from the Institute of Mathematics, Soviet Academy of Sciences, Novosibirsk, in 1979. Since 1990, he has worked in the Department of Computer Science at the University of Texas at El Paso. In addition, he has served as an invited professor in Paris, Hannover, Hong Kong, St. Petersburg and Brazil. His main interests are the representation and processing of uncertainty, especially interval computations and intelligent control. He has published seven books, twenty edited books, and more than 1,400 papers. Vladik is a member of the editorial board of the international journal "Reliable Computing" and several other journals. In addition, he is the co-maintainer of the international Web site on interval computations <http://www.cs.utep.edu/interval-comp>. Vladik is Vice President for Publications of IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, Vice President for Publicity of the International Fuzzy Systems Association (IFSA), Vice President of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), Fellow of International Fuzzy Systems Association (IFSA), Fellow of Mexican Society for Artificial Intelligence (SMIA).

УДК 004.822

## ОНТОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ

**А.А. Жиляев***НПК «Разумные решения», Самара, Россия**Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия**zhilyaev@smartsolutions-123.ru*

### Аннотация

В статье рассматривается использование онтологических моделей объектов планирования для сокращения трудоёмкости разработки и расширения возможностей по настройке мультиагентных систем управления ресурсами предприятий. В этих целях вводится базовая онтология планирования ресурсов, относительно независимая от предметной области, и даются примеры её расширения для управления ресурсами в различных прикладных сферах. В качестве центрального понятия предлагаемой онтологии планирования выделяется концепт «Задача», позволяющий формализовать требования к необходимым ресурсам, установить связи с предшествующими и последующими задачами, определить входные и выходные объекты каждой задачи. Показывается, что на основе этого концепта появляется возможность создать относительно универсального и легко настраиваемого программного агента задачи; на его базе в мультиагентной системе строится расписание как сеть потребностей и возможностей связанных между собой задач конкретного производства. На основе базовой онтологии и её прикладных расширений строится база знаний предприятия, содержащая его онтологическую модель, включающую экземпляры введённых классов понятий и отношений. Предложены расширения классов агентов сети потребностей и возможностей и разработан мультиагентный метод планирования ресурсов, использующий базу знаний предприятия. Приводится описание разработанного комплекса программных средств, с помощью которого осуществляется создание онтологии и базы знаний, а также планирование производства до уровня задач отдельных сотрудников. Обсуждаются перспективы развития предложенного подхода для создания онтологических «цифровых двойников» предприятий, применимых как в оперативном управлении, так и для моделирования процессов модернизации предприятий.

**Ключевые слова:** управление ресурсами, онтологии, базы знаний, мультиагентные технологии, планирование, адаптивность, гибкое производство.

**Цитирование:** Жиляев, А.А. Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами / А.А. Жиляев // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №2(32). – С.261-281. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.

### Введение

Многие производственные предприятия сталкиваются с новыми вызовами современной экономики, связанными с необходимостью более частого обновления продукции и технологий производства, перехода к позаказному малотиражному или даже единичному производству, развитию цепочек кооперации и другими изменениями [1].

С ростом сложности решаемых задач способность бизнеса быстро адаптироваться к происходящим изменениям становится важнейшей характеристикой, определяющей экономическую эффективность предприятия. При этом можно говорить об адаптивности первого рода, при которой планы предприятий изменяются с учётом поступления новых непредвиденных событий, но также важна и адаптивность второго рода, когда изменяются сами знания, ле-

жащие в основе процессов принятия решений по планированию деятельности предприятий, например, о выпускаемых изделиях, технологических процессах, возможностях имеющихся ресурсов и т.д. Совокупность всех знаний и данных об объекте производства и самом предприятии всё чаще называют «цифровым двойником» изделия и самого предприятия [2].

В этих условиях управление предприятиями требует новых подходов к автоматизации решения задач планирования, которое из стратегического долгосрочного постепенно должно становиться всё более оперативным и гибким, чутко реагирующим на любые изменения ситуации. И хотя большая часть предприятий по-прежнему планирует реальное производство один раз в месяц, налицо растущая востребованность в еженедельном и далее – ежедневном планировании, а в идеале - непрерывном адаптивном планировании по событиям в реальном времени. Цель такого планирования в том, чтобы сделать план предприятия всегда актуальным, показывающим реальную прибыль и картину использования всех ресурсов, позволяющим прогнозировать сроки завершения работ и поставки продукции и видеть возможности для снижения рисков. Производственный план становится необходимой частью «цифрового двойника» предприятия, наравне с другими параметрами, такими как, например, состояние его складов и станков в любой момент времени.

Наличие высокой сложности и динамики производственных процессов, имеющих событийную природу, приводит к тому, что традиционные пакетные, централизованные и последовательные вычислительные модели, методы и алгоритмы комбинаторного или эвристического типа не позволяют эффективно решать указанные задачи с приемлемым качеством и за приемлемое время [3, 4].

В этой связи актуальна и значима задача поиска рациональных методов, обеспечивающих возможность адаптивной перестройки планов по событиям в реальном времени.

При этом опыт решения практических задач [5] показывает, что ключевым фактором, влияющим на качество и эффективность планирования, являются не столько «изобретательные» методы планирования, сколько профессиональные знания специалистов, которые определяют семантику предметной области (ПрО) и содержательные особенности решаемых задач. Например, при планировании агрегатной сборки самолетов важное значение имеют сведения о закладных деталях (детали, при поступлении которых можно начинать сборку агрегата, даже при отсутствии других узлов), возможностях распараллеливания части технологических операций, усиления этих операций рабочими для ускорения работ, компетенциях рабочих, их совместимости при работе в сменах и т.д. Попытки создания полностью инвариантной к ПрО «универсальной» системы планирования неизбежно ведут к выхолащиванию рассматриваемой сути задачи, так как разработанные универсальные системы не позволяют учесть специфику ПрО, намеренно сокращая число факторов, принимаемых во внимание при планировании специалистами.

Указанные вызовы делают актуальным и значимым решение задачи цифровизации знаний в виде, допускающем их компьютерную обработку, в частности, для применения в системах автоматизации планирования использования производственных ресурсов.

## **1 Объект исследования**

Одним из перспективных подходов при создании автоматизированных систем управления ресурсами является использование мультиагентных технологий [4-5]. Мультиагентная система (МАС) состоит из автономных программных объектов (агентов), способных воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными.

Предлагаемый подход к созданию МАС для управления ресурсами связан с использованием сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) [6-9]. В этом подходе расписание лю-

бого предприятия или его подразделения строится посредством проведения параллельных и асинхронных аукционно-подобных взаимодействий программных агентов потребностей и возможностей на виртуальном рынке системы до момента достижения агентами неуплучшаемого «конкурентного равновесия», которое интерпретируется как «динамический останов» и определённого рода «консенсус» (баланс интересов), когда ни один из агентов не может более улучшить свои показатели, после чего решение выдаётся пользователю. Такой подход позволяет перейти от привычного «централизованного» видения управления, где доминирует единственный интерес и одна целевая функция – к распределённому решению задачи управления, где могут быть представлены, ценятся и учитываются интересы всех участников.

При этом решение любой сложной задачи формируется эволюционно. Этот процесс в общем случае можно рассматривать как недетерминированный процесс самоорганизации агентов, поскольку каждый агент сам принимает решение об установлении или разрыве связей в заранее не известный момент времени (пересмотр принятых ранее решений – типовой шаг в указанном методе), но делает это в ходе непрерывного выявления и разрешения конфликтов с другими агентами. Разрешение конфликтов реализуется посредством различного типа протоколов переговоров и взаимных уступок с компенсациями на основе функций удовлетворенности и бонусов-штрафов. В результате строится не глобально-оптимальное, а рациональное (локально-оптимальное) решение, причём это решение обладает возможностями для быстрой адаптации по событиям, возникающим в реальном времени.

В работах [10-11] показан ряд важных свойств таких методов и алгоритмов для планирования и оптимизации, которые не только позволяют сократить комбинаторный перебор вариантов и иногда дают оптимальное решение, но также интуитивно понятны, лучше распараллеливаются, устойчивы к изменениям постановки задачи и могут стать новым инструментом решения NP-трудных задач.

Вместе с тем, разработка МАС в настоящее время остаётся скорее искусством, чем технологией, и требует больших усилий от разработчиков как на этапе проектирования и разработки, так и на этапе внедрения и эксплуатации. При этом замечено, что самые важные и трудно формализуемые знания начинают выявляться уже после разработки системы, в ходе внедрения и эксплуатации, порождая большое число производственных конфликтов и трудоёмких доработок, вплоть до полного перепроектирования системы.

Возможность адаптации логики под изменяющиеся параметры объекта планирования является актуальной и в случае, если разработка системы поддержки принятия решений опережает процесс создания самого предприятия, для планирования деятельности которого она разрабатывается.

Таким образом, разработка МАС поддержки принятия решений по управлению ресурсами предприятий требует разработки методов и средств формализованного представления знаний, позволяющих унифицировать построение цифровых моделей деятельности предприятия для повышения эффективности управления его ресурсами, обеспечения быстрой реакции на изменения в номенклатуре выпускаемой продукции или оказываемых услуг, используемых технологий и средств производства.

Основные принципы построения мультиагентных систем на основе онтологий были ранее сформулированы в работе [5], а в статье [12] показана структура типовой МАС планирования ресурсов, модель данных которой построена на основе онтологии управления проектами. Представленная работа развивает известные принципы в части создания базовой онтологии планирования и разработки моделей и методов принятия решений при управлении ресурсами, а также в части реализации комплекса программных средств, в котором онтологии позволяют не только расширять набор принимаемых во внимание ограничений, но и перестраивать систему планирования под решение новых задач.

## **2 Онтологический подход к управлению ресурсами**

### **2.1. Формализация знаний**

При формализации знаний об индивидуальных особенностях объектов и процессов ПрО используется создание набора инструментальных средств, в основе работы которых лежит принцип разделения логики планирования и описания ПрО конкретной решаемой задачи.

Такой подход позволяет настраивать систему на область применения, формализованным образом описывая модель предприятия как объекта планирования с помощью базового набора понятий и отношений онтологии ПрО. Эта онтологическая модель объекта управления (технического объекта или производственного предприятия) загружается в МАС планирования для построения плана и дальнейшей его адаптивной корректировки по событиям. При этом каждому заказу или ресурсу сопоставляется свой программный агент и вариант его поведения, который настраивается на специфику своего владельца из базы знаний (описывающей, например, квалификации рабочего или особенности технологического процесса выполнения задачи).

В статье предлагается использовать базы знаний (БЗ) для формализации, накопления и использования знаний, которых в настоящее время в корпоративных системах нет. Такая БЗ, содержащая уже экземпляры объектов, может быть построена на основе онтологии ПрО в форме семантической сети классов понятий и отношений.

Создание подобной технологии является шагом на пути к реализации парадигмы «облачного производства», при которой производственные ресурсы (оборудование, инструменты или персонал) предоставляются пользователю в качестве сервиса в нужном объёме по его запросу по мере необходимости. В этом случае система должна уметь подбирать подходящие для выполнения конкретной задачи ресурсы, исходя из динамически расширяемого перечня их свойств и отношений.

### **2.2. Требования к построению онтологии планирования ресурсов**

План работы предприятия строится исходя из запущенных в производство заказов, каждый из которых характеризуется применяемыми технологическими или бизнес-процессами, предусловиями для начала выполнения задач и ожидаемым результатом (продуктом или услугой) каждой задачи, предпочтениями по выбору ресурсов, а также нормами времени на выполнение работы.

Для продукта обычно задан процесс его получения в виде последовательности операций (задач), для которых указаны требования по ресурсам. При этом указывается необходимое количество ресурса, а также набор характеризующих свойств (признаков, качеств, квалификаций и т.п.), позволяющих подбирать ресурсы в зависимости от ситуации. Перечень таких свойств часто известен заранее, но как правило, подлежит уточнению в процессе функционирования системы. Например: для операции фрезерования может потребоваться определить допустимую конфигурацию фрезерного станка, тип режущего инструмента, направление вращения фрезы относительно направления движения заготовки и др.; при выполнении операции может одновременно использоваться несколько видов ресурсов, так, при сварке двух деталей необходимо найти свободного сварщика, а также подходящий сварочный инструмент; для тяжёлых операций нужна кран-балка, которая может оказаться наиболее дефицитным ресурсом цеха, и т.д.

Продолжительность каждой операции определяется производительностью используемого ресурса. Операция может быть прервана, в результате чего будут временно высвобождены все используемые при её выполнении ресурсы, но для ряда операций может быть установлен

запрет на прерывание. Операции могут быть упорядочены между собой посредством отношений предшествования-следования. Одна из трудностей в определении порядка операций может быть связана с тем, что такое упорядочение часто задаётся неявно, например, посредством схемы сборки изделия. В ряде случаев ожидаемый результат может быть получен различными способами, описываемыми альтернативными технологическими процессами или выстраиваемыми динамически или по контексту ситуации (при строительстве нефтедобывающих скважин в процессе выполнения плана появляется необходимость в выполнении вспомогательных операций, например, вследствие зажима инструмента). Может допускаться возможность наличия альтернативных вариантов выполнения отдельной операции с использованием различного состава ресурсов, обладающих различной производительностью. Построение эффективного плана требует знания всех возможных альтернатив, что позволит найти наилучшую комбинацию ресурсов, учитывающую влияние и ограничения параллельно запущенных в производство заказов.

Помимо описания того, что, в какие сроки и какими способом необходимо сделать для выполнения каждого заказа, указывается и доступный набор ресурсов, включая их состав, характеристики, располагаемое количество, зависящее от календаря работы или графика поставки. В зависимости от типа ресурсы могут быть разделяемыми и неразделяемыми (в каждый момент времени могут быть использованы только в одной операции) а также возобновляемыми и невозобновляемыми. Использование в операции возобновляемого ресурса означает, что с началом её выполнения этот ресурс в требуемом количестве считается недоступным для выполнения других операций, но после её завершения ресурс высвобождается. Потребление ресурса означает, что после начала выполнения операции происходит уменьшение количества ресурса на заданную величину.

Задача планирования заключается в расчёте расписания выполнения заказов, определяющем распределение ресурсов по задачам и точное время их выполнения с использованием показателей эффективности:

- выполнение заказов как можно раньше или точно в срок;
- повышение загрузки ресурсов;
- минимизация среднего или максимального опоздания по заказам;
- уменьшение времени пролёживания продуктов и др.

Получаемое решение должно удовлетворять ограничениям по производительности и графику работы ресурсов, например, неразделяемый ресурс в данный момент времени может одновременно использоваться только одной операцией. При наличии нескольких допустимых вариантов расписания необходимо выбрать близкое к оптимальному, так как получение оптимального результата может быть затруднено и неоправданно с точки зрения затрачиваемого времени.

Таким образом, в общем случае процесс поиска решения заключается в выборе наилучшего или рационального плана исполнения конкурирующих за ресурсы заказов в зависимости от их требований и сложившейся ситуации. Эта задача, в свою очередь, распадается на ряд подзадач, связанных с подбором подходящих продуктов, технологических процессов и ресурсов.

По сравнению с известными и подобными задачами построения расписания (выполнение работ проекта Project Scheduling и планирование задач на станках Job Shop Scheduling [13]) в рассматриваемой постановке имеется ряд дополнительных требований, из которых принципиальными являются рост числа критериев, предпочтений и ограничений для каждого объекта, а также необходимость адаптивного перерасчёта расписания вследствие наступления событий, изменяющих как доступность ресурсов и материалов, так и технологические процессы выполнения заказов.

### 2.3. Обзор онтологий производственных ресурсов

Одна из первых известных производственных онтологий - «Process Specification Language» (PSL), разработанная как язык представления знаний о производственном процессе и используемая для интеграции различных приложений [14].

В 2006 году опубликована онтология «Manufacturing's Semantics Ontology» (MASON), предназначенная для моделирования производственного процесса и расчёта связанных с ним затрат. Основными классами понятий в ней являются ресурсы (в том числе материалы и персонал) и операции. Важной особенностью онтологии является возможность отображения экземпляров сущностей онтологии в программные объекты для последующего моделирования производственного процесса [15].

В [16] предложена версия онтологии производства на основе одной из общедоступных онтологий верхнего уровня (DOLCE) и расширение её предметно-зависимыми понятиями. Построенная онтология определяет таксономию изделий и компонентов, материалов, заказов и производственных процессов.

В статье [17] предложена производственная онтология, в основе которой лежат три класса понятий: продукт, процесс и ресурс. Для связи между процессами и ресурсами дополнительно введено понятие «возможность», с помощью которого задаются как требования со стороны операций, так и функциональность ресурсов. Авторы одними из первых стали использовать онтологический подход для автоматизации процесса управления сборочным конвейером, создав MAC, в которой агенты ресурсов регистрировали в системе имеющиеся у них возможности, а процессы подбирали необходимые ресурсы.

Пример использования семантических ограничений в многоагентных системах управления ресурсами показан в работе [18]. Состав агентов и учитываемых ими ограничений предложено определять на этапе проектирования системы в зависимости от особенностей рассматриваемой ПрО.

Преимущества использования онтологий в агентно-ориентированных системах управления ресурсами продемонстрированы в работе [19]. В центре внимания рассматриваемой здесь онтологии находятся такие понятия как заказ, продукт, производственный процесс и структура предприятия (группировка оборудования в производственные ячейки, описание маршрутов перемещения продукции между ячейками). В качестве примера рассмотрена задача по моделированию работы конвейера, упаковывающего подарки, состав и параметры которых определяются поступающими в систему заказами. Более подробно вопрос моделирования возможностей ресурсов (параметров оборудования и навыков работников) рассмотрен в работах [20, 21].

В статье [22] предложена производственная онтология верхнего уровня, позволяющая объединить на своей основе стадии проектирования и производства изделий. В работе [23] вопрос применения БЗ рассматривается в контексте помощи диспетчерам при планировании производственного процесса. В одной из последних работ по рассматриваемой теме [24] предложена онтология, в основе которой лежит представление производственного процесса в трёх измерениях: структурном (взаимосвязи между процессами и используемым оборудованием, оборудованием и инструментами и т.п.), временном (последовательность выполнения операций), вариативном (возможность выбора между альтернативными процессами, оборудованием и инструментами). Кроме того, значительная часть исследований посвящена более общей теме накопления и использования знаний в производственных системах [25, 26]. Подробный анализ современных тенденций и будущего производственных БЗ на основе онтологий опубликован в работе [27].

Результат проведённого анализа показывает, что большинство онтологий ориентированы на конкретную область производства и в основном служат для интеграции знаний из различ-

ных информационных систем или моделирования производственных процессов. Целью же настоящей работы является разработка базовой, предметно-независимой онтологии планирования, позволяющей применить накопленные знания о производственном процессе в автоматизированной МАС планирования.

## 2.4. Структура онтологии управления ресурсами

Основное назначение онтологий и построенных на их основе БЗ – формализация знаний ПрО в целях более точной спецификации требований, которые необходимо учитывать в прикладных системах, а также отделение этой информации от программного кода системы для обеспечения возможности её редактирования и расширения. Процесс разработки онтологии заключается в классификации понятий ПрО и определении формата представления знаний в виде конечного множества концептов (понятий) и отношений ПрО.

При этом для планирования удобно выделить три уровня описания ПрО, отличающихся степенью изменчивости предметных знаний:

- онтология ПрО – содержит формализованную модель знаний ПрО;
- онтологическая модель предприятия – содержит онтологическое описание ресурсов предприятия, построенное на основе онтологии ПрО, включая организацию предприятия, описание изделий и технологических процессов, оборудования, персонала и применяемых инструментов;
- сцена мира предприятия - соответствует текущему расписанию работы предприятия в выбранный момент времени.

Онтология представляет собой иерархически организованный словарь понятий, используемых для описания ПрО и связанных между собой отношениями. Базовые понятия через отношение наследования могут быть конкретизированы производными. Понятия и отношения из одной онтологии могут быть использованы при построении другой – это позволяет структурировать знания, например, создав несколько онтологий, различающихся уровнем абстракции. Качественные и количественные характеристики понятий и отношений задаются с помощью атрибутов. Онтологическая модель содержит устойчивые конфигурации экземпляров классов, заданных в онтологии. На основе онтологии и онтологической модели определяются структуры данных, используемые в дальнейшем для описания информационных моделей объектов и процессов решения бизнес-задач прикладными системами. Сцена описывает экземпляры понятий и отношений между ними с конкретными значениями атрибутов и отношений в расписании в выбранный момент времени [28].

На верхнем уровне предлагается использовать онтологию планирования, состоящую из наиболее общих и повторно используемых концепций, в то время как детали, зависящие от ПрО фиксировать в специализированных онтологиях, расширяющих базовую. Так, для описания ПрО машиностроительного производства может быть создана отдельная онтология машиностроения. Иерархия понятий может уточняться в более специализированных онтологиях, вплоть до уровня онтологии конкретного предприятия. На основе онтологии ПрО строится онтологическая модель предприятия, состоящая из экземпляров описанных ранее понятий (см. рисунок 1).

К преимуществам использования такого подхода можно отнести:

- создание единого базиса, в котором описываются знания;
- возможность внесения изменений в структуру представления знаний по мере изменения целей и задач, стоящих перед системой;
- наглядность и доступность для восприятия пользователями больших объёмов сложно структурированной информации;
- возможности по интеграции разнородных источников информации.



Рисунок 1 – Пример представления онтологии в виде нескольких слоев

## 2.5. Базовая онтология планирования

Для того, чтобы «объяснить» системе планирования как работать с ПрО, необходимо связать её понятия и отношения с уже известными (интерпретируемыми системой) понятиями и отношениями, встроенными в её программный код. Набор этих понятий и отношений формирует «онтологию планирования», в которой могут быть собраны все абстракции, которыми оперирует система планирования.

В качестве базовых понятий и отношений предметной онтологии целесообразно выбрать те, которые соответствуют основным агентам ПВ-сети, применяемым для адаптивного планирования на основе мультиагентных технологий. Такими понятиями являются: заказ, задача, ресурс и продукт (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Базовая онтология планирования

Заказы определяют состав и сроки создания продукта, задачи требуют для своего выполнения ресурсы с определённым набором характеристик. При этом могут быть выделены задачи с фиксированной длительностью или фиксированным объёмом работ, который должен быть выполнен для её завершения. Продукты могут поступать на вход задачи, а также являться результатом её выполнения. Продукты требуют размещения (например, сборочная единица должна храниться на соответствующей площадке вплоть до момента её использования при сборке конечного изделия).

В зависимости от способа определения длительности задачи могут классифицироваться как атомарные, групповые, а также задачи вида «гамак» (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Базовые типы задач

Тип	Описание
Атомарная	Продолжительность задана фиксированной нормой времени.
	Продолжительность зависит от состава и характеристик используемых ресурсов и/или объёма выпускаемого продукта.
Групповая	Продолжительность «покрывает» интервалы выполнения дочерних задач (атомарных или групповых).
Гамак	Выполняется строго между моментами времени окончания задач предшественников и началом задач-последователей.

Все задачи могут требовать для своего выполнения ресурсы, производить и потреблять или использовать (без преобразования) продукты. Требование к ресурсу определяет набор ресурсов, необходимых для выполнения задачи. Требование характеризуется типом ресурса, количеством ресурсов данного типа, а также перечнем атрибутов, ограничивающих множество подходящих под описание ресурсов. Атрибут представляет собой тройку: название, оператор, значение.

Ресурсы обеспечивают выполнение задач. С точки зрения участия в технологическом процессе они подразделяются на преобразуемые и обеспечивающие (см. таблицу 2). Преобразуемые ресурсы подвергаются трансформации в ходе выполнения технологического процесса и непосредственно входят в состав получаемой на выходе продукции в качестве исходного сырья и материалов. В качестве подкласса преобразуемого ресурса отдельно выделен класс «Продукт». При выполнении процесса продукт приобретает дополнительную ценность и поступает на его выход – внутреннему или внешнему потребителю. В свою очередь, потребитель может рассматривать преобразованный продукт в качестве входа для своего процесса. Для того чтобы различать производимые и потребляемые продукты дополнительно вводятся два соответствующих подкласса. Обеспечивающие ресурсы участвуют в процессе преобразования, но не изменяют своё состояние. К их числу можно отнести оборудование, программное обеспечение, инфраструктуру, персонал.

Таблица 2 – Базовые типы ресурсов

Тип	Описание
Преобразуемый	Тратится при выполнении задачи (в количестве, определённом её требованиями), может быть восполнен согласно графику поставок.
Обеспечивающий	Становится доступными для повторного использования в прежнем количестве сразу после завершения задач, на которые был выделен. В общем случае может иметь график зависимости располагаемого объёма от времени (ресурс с переменной доступностью).

Оба типа ресурсов характеризуются графиком зависимости располагаемого объёма от времени. Для обеспечивающих ресурсов устанавливаются правила обслуживания, правила переналадки и транспортная доступность с другими ресурсами (через отношения «соединён с»), которая определяет возможность и время транспортировки обрабатываемых продуктов от одного ресурса (или группы ресурсов) к другому. Правила переналадки определяют технологический переход между последовательным выпуском различных видов продуктов на одном и том же оборудовании, правила обслуживания – потребность ресурса в проведении ремонтных и профилактических работ.

Между базовыми понятиями могут быть установлены отношения. Каждый заказ требует появления некоторого продукта («требует создания»), который, в свою очередь, связан с задачей, в результате выполнения которой он появляется (задача «производит» продукт). Продукты могут быть использованы при выполнении задач (задача «потребляет» продукт). Зада-

чи связаны между собой посредством отношений вложенности («является частью») и упорядоченности («следует за»). Эти отношения позволяют агенту найти предыдущую и следующую задачу для запроса о перемещении в расписании или сообщения о возникшей задержке в выполнении. Отношение «требует ресурс» показывает, какие ресурсы необходимы для выполнения задачи (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Отношения, определённые в базовой онтологии планирования

Домен	Тип отношения	Диапазон
Заказ	Требует создания	Производимый продукт
Задача	Является частью	Групповая задача
	Следует за	Задача
	Использует	Ресурс / требование к ресурсу
	Производит	Производимый продукт
	Потребляет	Потребляемый продукт
Ресурс	Доступен	График доступности
Обеспечивающий ресурс	Входит в	Группа ресурсов
	Требует обслуживания	Правило обслуживания
	Требует переналадки	Правило переналадки

Таким образом, для формирования онтологической модели объекта планирования необходимо выполнить следующие этапы:

- 1) описать номенклатуру используемых и производимых продуктов (сырья, полуфабрикатов, информационных продуктов, документов, изделий и др.). Часть продуктов (сырьё, материалы) не являются объектом собственного производства и используются системой планирования в качестве ограничений, оказывающих влияние на сроки выполнения потребляющих эти продукты операций. Полуфабрикаты и готовые продукты являются объектами собственного производства и должны иметь маршрут своего изготовления, в процессе которого используют производственные мощности предприятия. При необходимости в онтологию могут быть добавлены классы, описывающие подвиды продукции. Описание каждого вида продукта может быть уточнено с помощью дополнительных отношений и атрибутов.
- 2) описать состав и структуру используемых ресурсов (кадры, станки, инструменты и т.д.). Для ресурсов задаётся: производительность; календарь работы; правила проведения планово-предупредительных ремонтов и обслуживания в зависимости от наработки или объёмов выпущенной продукции; правила переналадки, определяющие длительность перехода на производство продукции другого вида; дополнительные атрибуты и отношения. Ресурсы могут быть объединены в группы в целях удобства задания общих для всей группы характеристик, например, графика работы всего подразделения. Дополнительно могут быть установлены отношения «вложенности» одних групп в другие.
- 3) задать технологические процессы получения продуктов, представляющие собой упорядоченный список операций. Для операций указываются нормативы времени выполнения: фиксированные или зависящие от объёмов участвующей в преобразовании продукции и необходимые для её выполнения ресурсы (путём задания необходимых свойств). Время выполнения операции может зависеть от производительности выбранной линии.
- 4) сформировать перечень заказов, содержащих сведения об изготавливаемом продукте, его количестве и сроках выполнения.

## 2.6. Прикладные онтологии

Прикладные онтологии содержат классы понятий и отношений, являющиеся специфическими для этой области, например, в онтологии машиностроения описываются такие классы как «изделие», «технологический процесс», «цех», «оборудование» и другие (см. рисунок 3).

Некоторые из этих классов ссылаются на базовые, приведённые в онтологии планирования, например, «Обеспечивающий ресурс» на уровне онтологии машиностроения представлен классами «Технологическая оснастка» и «Оборудование». Дополнительно указываются классы общего назначения, которые не наследуются от базовых, а лишь участвуют с ними в отношениях, позволяя описывать свойства понятий ПрО (модель оборудования, компетенция

сотрудника и др.). В ПрО бурения в качестве результата рассматривается скважина с заданным набором свойств (назначение, конструкция, тип, месторождение и др.). В процессе бурения используется буровая установка, конкретные операции требуют участия бригады буровиков, обладающих различной специализацией, расходуются буровые и обсадные трубы различного диаметра (см. рисунок 4).



Рисунок 3 – Расширение онтологии планирования на область машиностроения

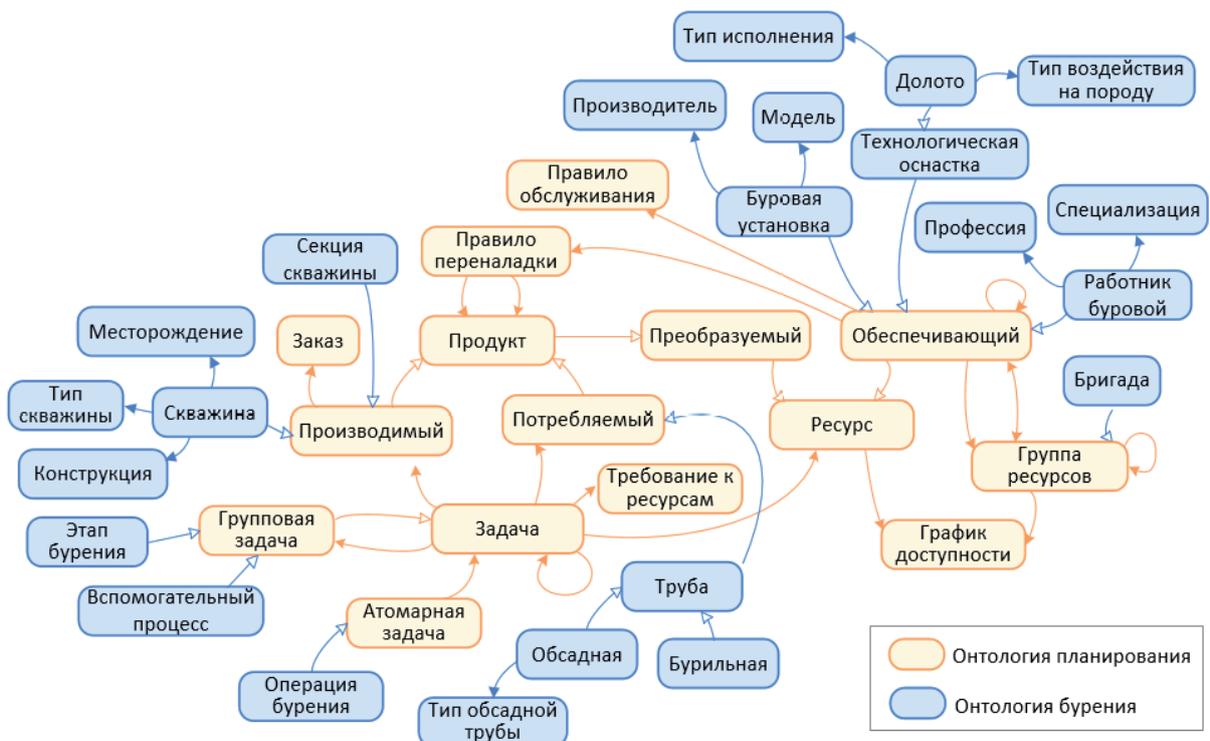


Рисунок 4 – Расширение онтологии планирования на предметную область бурения

### 3 Развитие мультиагентного метода планирования на основе онтологий

#### 3.1. Базовые классы агентов

Для решения задачи планирования предлагается использовать мультиагентный подход, в основе которого лежит сопоставление онтологическим сущностям ПрО действующих от их лица программных агентов [29].

Каждый агент способен принимать решения и взаимодействовать с другими агентами, вместе образующими МАС. Поведение МАС не регулируется каким-либо централизованным алгоритмом, а, напротив, возникает из локальных взаимодействий образующих её агентов. Каждый агент обладает набором поведений, определяющих его реакцию на сообщения от других агентов, либо на изменение внешних условий (событий).

В предлагаемом подходе расписание строится путём самоорганизации программных агентов ПВ-сети, ведущих конкуренцию и кооперацию на виртуальном рынке системы. В качестве базовых типов агентов выделены агенты заказов, задач, ресурсов, продуктов, а также агент сцены. Цели и ограничения этих агентов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Цели и ограничения агентов

Тип	Цели и предпочтения	Ограничения
Агент заказа	Быть выполненным в указанные сроки в полном объёме, с минимальной стоимостью	Сроки, объём, предельная стоимость
Агент задачи	Быть выполненным на подходящем ресурсе в указанные сроки за минимальное время	Характеристики требуемых ресурсов и продуктов, сроки начала и окончания, взаимосвязи с другими задачами
Агент ресурса	Быть максимально загруженным, минимизировать простои и переналадки	Календарь работы, интервалы недоступности, правила обслуживания и переналадки, производительность
Агент продукта	Обеспечить своё хранение, минимизировать пролёживание	Требования по хранению, время поставки или производства, время потребления
Агент сцены	Выявление «узких мест» в расписании, управление активностью агентов системы, взаимодействие с внешними системами	Время, отводимое на планирование, глубина цепочек перестановок в расписании

#### 3.2. Удовлетворённость агентов

Цели и предпочтения каждого агента определяются через функцию удовлетворённости, представляющую собой взвешенную сумму компонент, соответствующих различным критериям:

$$Y = \sum_{i=1}^n w_i y_i, \quad i = \overline{1, n},$$

где:  $y_i$  – функция удовлетворённости по критерию  $i$ ,  
 $w_i$  – весовой коэффициент.

Примеры компонент функций удовлетворённости агентов различных типов приведены на рисунке 5. В зависимости от значения функции удовлетворённости агенту автоматически начисляется премия (штраф), размер которой определяется через заданную для этого агента функцию бонусов и штрафов:  $P = f(Y)$ .

Пример функции бонусов и штрафов показан на рисунке 6.

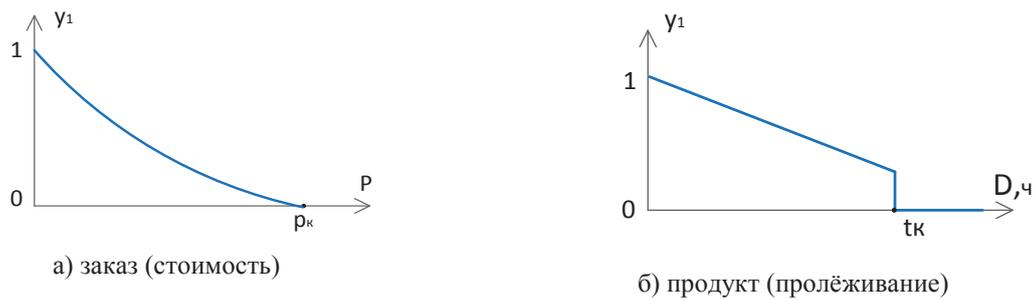


Рисунок 5 – Примеры компонент функций удовлетворённости агентов

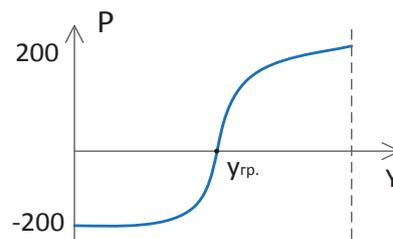


Рисунок 6 – Пример функции бонусов и штрафов

Если функция удовлетворённости определяет чувствительность агента к изменению своего состояния, то функция бонусов и штрафов – возможность агента перестроить расписание в угоду своих интересов (его «агрессивность» при достижении собственных целей).

### 3.3. Метод планирования на основе агентов и онтологий

В основе планирования лежит механизм разбора конфликтов, обеспечивающий возможность перестановки конфликтующих задач в расписании посредством переговоров агентов (путём обмена сообщениями по заданным регламентам). В результате достигается допустимое локально-оптимальное решение, которое в дальнейшем адаптивно корректируется в «скользящем режиме» на рассматриваемом горизонте планирования.

- 1) В соответствии с текущим состоянием сцены создаются агенты заказов, ресурсов и продуктов. Агент сцены отправляет сигнал о начале планирования одному или нескольким агентам заказов.
- 2) Агент заказа считывает технологический процесс получения связанного с ним продукта и порождает агентов задач, соответствующих технологическому процессу и операциям, выстроенных в иерархию.
- 3) Агент задачи верхнего уровня считывает концепт указанной ему задачи в БЗ и проверяет наличие используемых при выполнении задачи продуктов, оценивает требования по ресурсам и подбирает их комбинацию на основе оценки продолжительности. Процедура поиска вариантов размещения включает анализ требуемых ресурсов, сопоставление требований задач и возможностей ресурсов, согласование времён доступности всех ресурсов, выбор лучшей комбинации исполнителей. При этом по мере подбора ресурсов определяется множество заказов, мешающих размещению на выбранных ресурсах (конфликтное множество). Процедура определения конфликтного множества заказов зависит от типа рассматриваемого ресурса: неразделяемый ресурс фиксирует конфликт в случае пересечения используемых двумя задачами интервалов времени, разделяемый – если суммарное количество используемого задачами ресурса превышает предельное значение. После выбора варианта размещения агент групповой задачи отправляет запрос на планирование агентам дочерних задач.
- 4) Агенты дочерних задач рекурсивно проводят поиск вариантов размещения с учётом установленных родительской задачей ограничений. Результаты планирования сообщаются агенту задачи верхнего уровня, который уточняет своё размещение или предлагает дочерним задачам запланировать в другое время.
- 5) Агент задачи верхнего уровня сообщает агенту заказа о параметрах выбранного размещения.
- 6) Агент заказа предлагает конфликтующим заказам найти себе другое место в расписании, сообщив потери, которые им пришлось понести по сравнению с базовым (отправным для текущей нити) вариантом расписа-

ния. В результате определяется цепочка перестановок задач и заказов, рассчитываются значения целевых функций тех сущностей, которых затронули изменения в плане, и на основе этого уточняется итоговое значение целевой функции системы как нормированной суммы целевых функций составляющих её агентов. Цепочка перестановок является успешной (допустимой), если значение целевой функции системы становится больше, и агент заказа может компенсировать потери других сущностей, участвующих в этом варианте перестановок. Если эти условия выполнены, то происходит утверждение изменений в расписании, иначе – определяется другой вариант размещения.

- 7) После размещения агент заказа проверяет наличие связанных с ним отношений «Производится» продуктов и оповещает их агентов о сроках поставки на склад.
- 8) Данный процесс продолжается до тех пор, пока не зафиксируется состояние, когда ни один агент не может более улучшить своё состояние (функцию удовлетворенности).
- 9) Агент сцены определяет агента с наихудшими критериями для системы в целом. Выбранному худшему агенту даётся команда разорвать связи со связанными продуктами и ресурсами. Выбранному агенту увеличивается значение коэффициента важности наихудшего критерия в функции удовлетворённости, что будет вызывать выбор других опций при его повторном новом планировании.
- 10) Агент пытается планироваться заново – если успешно, процесс переходит к следующему критерию и соответствующему агенту. Если нет, то агент сообщает сумму компенсации, которой ему не достаёт для достижения нового значения критерия.
- 11) Агент сцены оценивает наличие валюты в системе и добавляет при необходимости виртуальную валюту данному агенту. В результате худшие агенты итерационно «подтягивают» свои критерии по новым значениям, компенсируя убытки других агентов за счёт виртуального бюджета.
- 12) Процесс заканчивается, если вышло время, отводимое на построения расписание или не осталось возможностей по его улучшению.

### 3.4. Инструментальные средства поддержки

Для реализации предложенного подхода был разработан комплекс программных средств, включающий в свой состав модуль управления, пользовательский интерфейс, конструктор онтологий, моделей и сцен, а также модуль планирования (см. рисунок 7).

Подсистема управления является серверной частью веб-приложения, реализующей его бизнес-логику. Конструктор моделей, онтологий и сцен обеспечивает создание, редактирование и хранение цифровой модели объекта планирования, предоставляя программный интерфейс для доступа к имеющейся информации. Хранилище данных



Рисунок 7 – Архитектура комплекса программных средств

физически разделено на две части: онтологическую и реляционную. Онтологическая часть содержит описание всех используемых онтологий и моделей в виде триплетов, реляционная – данные о всех введенных в систему объектах (ресурсах, заказах, задачах и т.п.). Такое разделение позволяет сочетать преимущества жестких нормализованных и динамически расширяемых структур данных, хранящихся в различных СУБД: PostgreSQL и Mongo.

Главной задачей модуля планирования является формирование и адаптивная перестройка плана выполнения заказов с учётом ограничений на ресурсы. Модуль создаёт и настраивает экземпляры агентов системы исходя из онтологического описания объекта планирования, предоставляет многопоточную среду для их выполнения, определяет порядок и алгоритм их функционирования.

Интерфейс пользователя представляет собой клиентскую часть веб-приложения, исполняющуюся в браузере и реализующую графический интерфейс для доступа к модели объекта и результатам планирования.

Примеры экранов разработанных программных средств показаны на рисунке 8.

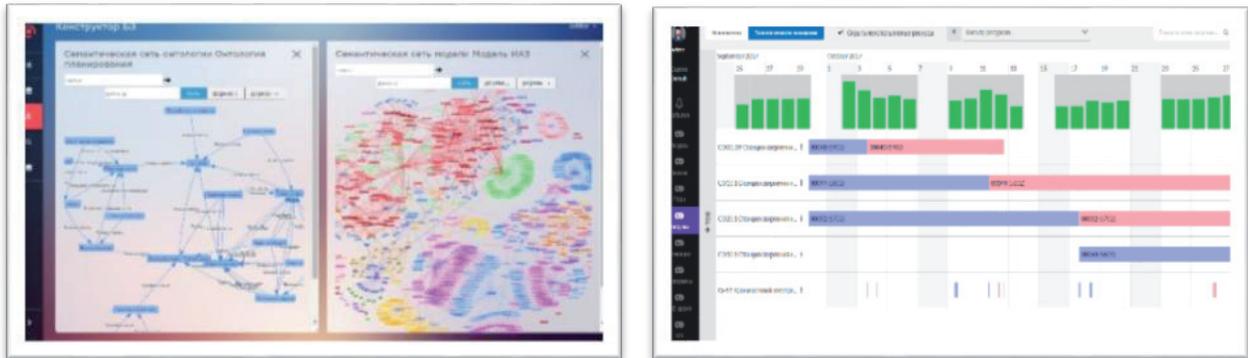


Рисунок 8 – Примеры экранов разработанных программных средств (слева – прикладная онтология и онтологическая модель предприятия для одного из цехов, справа – график выполнения операций сборки)

## 4 Применение инструментальных средств для решения прикладных задач

### 4.1. Планирование производства на авиастроительном предприятии

Объектом планирования является процесс агрегатной и окончательной сборки пассажирского самолета МС-21. Производственное расписание включает работы по сборке технологических сборочных единиц каждого экземпляра самолета, изготавливаемых на заданном горизонте планирования, с декомпозицией до уровня технологических переходов [30].

Работы выполняются на сборочной линии, состоящий из специализированных станций для сборки панелей, отсеков, фюзеляжа и всего самолета в целом. Фрагменты будущего самолета – технологические сборочные единицы – перемещаются от одной станции к другой по заранее определённому технологическому маршруту сборки. На станции над сборочной единицей выполняется комплекс работ (операций) по базированию, закреплению деталей по отверстиям или в сборочной оснастке, соединению деталей между собой, контролю и выемке собранной сборочной единицы из оснастки. Этот процесс должен быть синхронизирован на всех станциях.

Требуется определить порядок и сроки выполнения технологических операций так, чтобы минимизировать задержки при выполнении заказов, повысить загрузку оборудования и персонала. Построенное расписание должно адаптивно перестраиваться при возникновении следующих событий: приход новых срочных заказов, например, по доработанным техпроцессам, исправляющим брак; непредвиденные события с участков сборки, такие как выход из строя оборудования, поломка инструмента, невыход на работу рабочего, отсутствие комплекующих, наличия брака или потерь, невыполнение запланированных операций.

В результате проекта была создана МАС для управления работой сборочного цеха, которую в дальнейшем предполагается растиражировать и объединить в сетевую систему управления группой смежных цехов, работающую на общей цифровой платформе. Расширение прикладной онтологии в область авиастроения потребовало введения 152 классов понятий и отношений.

### 4.2. Планирование сборки грузовых автомобилей

Требуется составить план работы роботизированной фабрики по сборке электрических грузовых автомобилей, обеспечив возможность её быстрой реконфигурации для выпуска но-



вочными или прерываемыми. Технологический процесс может быть скорректирован в процессе выполнения работ, например, в случае выявления нештатной ситуации или отклонения от намеченного графика.

МАС управления процессом бурения, главной особенностью которой стала возможность накопления и учёта «лучших практик», собранных при бурении предшествующих скважин, позволила скорректировать технологический процесс с учётом специфики месторождения. Для ПрО бурения расширение базовой онтологии потребовало введения 85 классов понятий и отношений. Данная область существенно отличается от области машиностроения, и разработка МАС позволила проверить расширяемость базовой онтологии планирования.

#### 4.4. Результаты разработок

Несмотря на существенные различия в постановках, приведённые выше задачи были решены с помощью комплекса программных средств с некоторыми доработками, связанными, в первую очередь, с визуализацией предметно-зависимых процессов, таких как диаграммы загрузки ресурсов по цехам или график «глубина-день» при бурении скважины. При этом все изменения в модуле планирования «не привязывались» к конкретной ПрО и лишь наращивали его общие возможности.

В каждом случае использовалась базовая онтология планирования, на основе которой создавались предметно-ориентированные онтологии и модели предприятий. В случае агрегатной сборки грузовиков удалось использовать и онтологию машиностроения, расширив её на частный случай робототехнических средств. Параллельно, исходя из возникающих при решении прикладных задач потребностей, происходило наращивание базовой онтологии планирования, синхронно с которой модифицировалась и логика работы агентов. Общие сведения о количестве сущностей в БЗ, агентов в модуле планирования, а также примерных сроках доработки комплекса инструментальных средств приведены в таблице 5 (число агентов зависит от количества введённых заказов, в таблице приведены усреднённые значения).

Таблица 5 – Общие сведения применения инструментальных средств для решения прикладных задач

Прикладная задача	Размер базовой онтологии	Размер предметной онтологии	Размер модели предприятия	Количество агентов	Время на доработку (человек/месяц)	
					БЗ	модуль планирования
Сборка самолётов	61	152	925	> 350	3	5.5
Сборка грузовиков		89	382	> 520	1	2
Бурение скважин		85	441	> 5000	2	3.5

На основании проведённого анализа можно заключить, что разработанный подход позволяет:

- уменьшить сложность и трудоёмкость создания МАС для управления ресурсами;
- бороться с «редукционизмом» и наращивать число факторов для принятия решений;
- настраивать логику работу МАС без привлечения программистов;
- сократить расходы на создание и поддержку рассматриваемых систем;
- привлекать к разработке программистов с более низкой квалификацией;
- использовать один и тот же исходный код на разных задачах, сокращая число ошибок и риски, связанные с разработкой.

На практике появляется возможность систематизации, накопления и формализации специфических знаний предприятий, которые ранее не были отделены от программного кода и которые теперь могут получить дополнительную ценность, а в перспективе позволят рассматривать формирующуюся БЗ как ещё один актив предприятия.

## Заключение

Разработана базовая онтология планирования ресурсов и показана возможности её расширения в ПрО, позволяющие использовать один и тот же набор агентов ПВ-сети для управления предприятиями в существенно разных ПрО. Представлено расширение мультиагентного метода планирования на основе онтологической модели предприятия, хранящейся в БЗ. Показано применение подхода для управления сборкой самолетов, роботизированной сборкой автомобилей и процессом бурения.

Предложенный подход позволяет строить формализованные онтологические модели ПВ-сетей предприятий и гибко настраивать МАС управления ресурсами без трудоёмкого перепрограммирования для учёта специфики их работы. Применение онтологий позволяет сократить расходы на создание и поддержку МАС для управления ресурсами. Уменьшение трудоёмкости и сроков разработки объясняется снижением затрат времени на выявление и информационное моделирование знаний ПрО, типизацию задач компонент планирования, разработку учётной системы и интеграцию модуля планирования с вновь разработанной инфраструктурой. Используемая в работе БЗ позволяет накапливать разнородные сведения о производственном процессе, отражая растущую сложность реального мира и развивая индивидуальный подход к каждой задаче. Созданные онтологические модели предприятий могут стать основой для создания «цифровых двойников» предприятий, применимых как в оперативном управлении, так и для моделирования процессов развития предприятий.

## Благодарности

Статья подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы ИПУСС РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

## Список источников

- [1] **Zhong, R.Y.** Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review / R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, S. Newman // *Frontiers of Mechanical Engineering*. - 2016. - P. 616-630.
- [2] **Tao, F.** Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data / F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang, F. Sui // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. - 2017. – P. 3563-3576.
- [3] **Leitao, P.** Smart Agents in Industrial Cyber-Physical Systems / P. Leitao, S. Karnouskos, L. Ribeiro, J. Lee, T. Strasser, A. W. Colombo // *Proceedings of the IEEE*. - 2016. - № 104(5). - P. 1086-1101.
- [4] **Городецкий, В.И.** Современное состояние и перспективы промышленных применений многоагентных систем / В. И. Городецкий, О. Л. Бухвалов, П. О. Скобелев, И. В. Майоров // *Управление большими системами: сборник трудов*. - 2017. - № 66. - С. 94-157.
- [5] **Ржевский, Г.** Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания сложных систем управления предприятиями / Г. Ржевский, П.О. Скобелев. - Самара: Офорт, 2015. – 290 с.
- [6] **Скобелев, П.О.** Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений / П.О. Скобелев // *Автоматрия*. - 2002. - Т. 38. - № 6. - С. 45-61.
- [7] **Виттих, В.А.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В. А. Виттих, П. О. Скобелев // *Автоматика и телемеханика*. - 2003. - №1. - С. 162-169.
- [8] **Виттих, В.А.** Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени / В. А. Виттих, П. О. Скобелев // *Автоматрия*. - 2009. - Т.45. - № 2. - С. 78-87.
- [9] **Skobelev, P.** Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management / P. Skobelev // *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*. – Elsevier. - 2015. - P. 207-230.
- [10] **Shoham, Y.** Multi-agent systems: Algorithmic, Game Theoretic and Logical Foundations / Y. Shoham, K. Leyton-Brown. – Cambridge University Press, 2009. - 513 p.

- [11] **Easley, D.** Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World / D. Easley, J. Kleinberg. – Cambridge University Press, 2010. – 744 p.
- [12] **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.
- [13] **Лазарев, А.А.** Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров. – М.: МГУ, 2011. – 222 с.
- [14] **Gruninger, M.** The process specification language (PSL): theory and applications / M. Gruninger, C. Menzel // *AI Magazine*. – 2003. – Vol. 24(3). – P. 63-74.
- [15] **Lemaignan, S.** MASON: A proposal for an ontology of manufacturing domain / S. Lemaignan, A. Siadat, J.Y. Dantan, A. Semenenko // *Proceedings - DIS 2006: IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems - Collective Intelligence and Its Applications*. – 2006. – P. 195-200.
- [16] **Borgo, S.** Foundations for a Core Ontology of Manufacturing / S. Borgo, P. Leitão // *Ontologies. Integrated Series in Information Systems*. – 2007. – P. 751-775.
- [17] **Cândido, G.** A multiagent control system for shop floor assembly / G. Cândido, J. Barata // *HoloMAS: International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*. – 2007. – P. 293-302.
- [18] **Ризванов, Д.А.** Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода / Д.А. Ризванов, Н.И. Юсупова // *Онтология проектирования*. – 2015. – №3(17). – С. 297-312. – DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [19] **Vrba, P.** Semantic Extension of Agent-Based Control: The Packing Cell Case Study / P. Vrba, M. Radakovič, M. Obitko, V. Mařík. – 2009. – P. 47-60.
- [20] **Järvenpää, E.** The development of an ontology for describing the capabilities of manufacturing resources / E. Järvenpää, N. Siltala, O. Hylli, M. Lanz // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2019. – Vol. 30. – P. 959-978.
- [21] **Backhaus, J.** Digital description of products, processes and resources for task-oriented programming of assembly systems / J. Backhaus, G. Reinhart // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2015. – Vol. 28(8). – P. 1787-1800.
- [22] **Usman, Z.** A Manufacturing Core Concepts Ontology for Product Lifecycle Interoperability / Z. Usman, R. Young, N. Chungoora, C. Palmer, K. Case, J. Harding // *Enterprise Interoperability. IWEI 2011. Lecture Notes in Business Information Processing*. – 2011. – Vol 76. – P. 5-18.
- [23] **Minhas, S.** Ontology Based Environmental Knowledge Management - A System to Support Decisions in Manufacturing Planning / S. Minhas, U. Berger // *6th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development*. – 2014. – P. 397-404.
- [24] **Sormaz, D.** SIMPM – Upper-level ontology for manufacturing process plan network generation / D. Sormaz, A. Sarkar // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. – 2019. – Vol. 55. – P. 183-198.
- [25] **Giovannini, A.** Knowledge-based system for supporting manufacturing sustainability / A. Giovannini, A. Aubry, H. Panetto, M. Dassisti, H. El Haouzi // *Annual Reviews in Control*. – 2012. – Vol. 36. – № 2. – P. 309-317.
- [26] **Chungoora, N.** A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing / N. Chungoora, R.I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N.A. Anjum, A.F. Cutting-Decelle, J.A. Harding, K. Case // *Computers in Industry*. – 2013. – Vol. 64. – № 4. – P. 392-401.
- [27] **Chandrasegaran, K.** The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems / K. Chandrasegaran, K. Ramani, R.D. Sriram, I. Horváth, A. Bernard, R.F. Harik, W. Gao // *Computer-Aided Design*. – 2013. – Vol. 45(2). – P 204-228.
- [28] **Матюшин, М.М.** Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах / М.М. Матюшин, Т.Г. Вакурина, В.В. Котеля, П.О. Скобелев, О.И. Лахин, С.С. Кожевников, Е.В. Симонова, А.И. Носкова // *Информационно-управляющие системы*. – 2014. – № 2. – С. 9-17.
- [29] **Скобелев, П.О.** Планирование сеансов связи между микроспутниками и сетью наземных станций с использованием мультиагентных технологий / П.О. Скобелев, А.Б. Иванов, Е.В. Симонова, В.С. Травин, А.А. Жилиев // *Онтология проектирования*. – 2014. – №2(12). – С. 92-100.
- [30] **Скобелев, П.О.** Оперативное управление ресурсами цехов предприятий на основе мультиагентного подхода / П.О. Скобелев, А.А. Жилиев, И.В. Майоров, В.Г. Елисеев, В.С. Травин, Е.В. Симонова // *Труды XIX Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*. – 2017. – С. 474-485.

## ONTOLOGY AS A TOOL FOR CREATING OPEN MULTI-AGENT RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS

**A.A. Zhilyaev**

*SEC Smart Solutions Ltd., Samara, Russia*

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

*zhilyaev@smartsolutions-123.ru*

### Abstract

This article proposes to use an ontological model of planning object for flexible configuration of multi-agent enterprise resource management systems. It presents the basic ontology of resource planning and gives examples of its extension for resource management in different applications. The concept «Task» is considered as a key concept: a formalized description of various classes of tasks based on this concept allows to create a relatively universal agent and customize it to the specific manufacturing area. On the basis of ontology, an enterprise knowledge base, which contains examples of concepts and relationships, is created. The author introduces new classes of agents for demand-resource networks and proposes a new method of multi-agent planning using the enterprise knowledge base. The proposed approach has been applied in several areas through the developed software suite. It is shown that the using of ontologies allows improving the quality and efficiency of planning by taking into account additional factors on the fly, reduce the costs of creating and supporting multi-agent systems, as well as reduce the time and risks of development.

**Key words:** *resource management, ontology, multi-agent technology, planning, adaptability, flexible manufacturing.*

**Citation:** *Zhilyaev AA. Ontology as a tool for creating open multi-agent resource management systems [In Russian]. Ontology of designing. 2019; 9(2): 261-281. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.*

### Acknowledgment

The article was prepared on the basis of research materials on the topic № AAAA-A19-119030190053-2 "Development and research of methods and tools for analytical design, computer representation of knowledge, computational algorithms and multi-agent technologies in the tasks of the complex systems control".

### References

- [1] **Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman S.** Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Frontiers of Mechanical Engineering*; 2016: 616-630.
- [2] **Tao F, Cheng J, Qi Q, Zhang M, Zhang H, Sui F.** Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*; 2017: 3563-3576.
- [3] **Leitao P, Karnouskos S, Ribeiro L, Lee J, Strasser T, Colombo AW.** Smart Agents in Industrial Cyber-Physical Systems. *Proceedings of the IEEE*; 2016; № 104(5): 1086-1101.
- [4] **Gorodetsky VI, Bukhvalov OL, Skobelev PO, Mayorov IV.** The current state and prospects of industrial applications of multi-agent systems [In Russian]. *Control of large systems: collection works*; 2017; 66: 94-157.
- [5] **Rzevski G, Skobelev P.** Managing complexity, WIT Press, London-Boston; 2014.
- [6] **Skobelev P.** Open multi-agent systems for rapid processing of information in decision-making processes [In Russian]. *Autometry*; 2002; 38; 6: 45-61.
- [7] **Vittykh VA, Skobelev PO.** Multi-agent interaction models for building networks of needs and opportunities in open systems [In Russian]. *Automation and Telemechanics*; 2003; 1: 62-169.
- [8] **Vittykh VA, Skobelev PO.** The method of conjugate interactions to control the distribution of resources in real time [In Russian]. *Autometry*; 2009; 45; 2: 78-87.
- [9] **Skobelev P.** Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*. Elsevier; 2015: 207-230.
- [10] **Shoham Y, Leyton-Brown K.** Multi-agent systems: Algorithmic, Game Theoretic and Logical Foundations. Cambridge University Press; 2009. – 513 p.
- [11] **Easley D, Kleinberg J.** Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World. Cambridge University Press; 2010. – 744 p.
- [12] **Skobelev PO.** Situational management and multi-agent technologies: a collective search for consistent solutions in the dialogue [In Russian]. *Ontology of Designing*; 2013; 2(8): 26-48.

- [13] **Lazarev AA, Gafarov ER.** Scheduling theory. Tasks and algorithms [In Russian]. - Moscow: Moscow State University publ.; 2011. – 222 p.
- [14] **Gruninger M, Menzel C.** The process specification language (PSL) theory and applications. *AI Magazine*; 2003; 24(3): 63-74.
- [15] **Lemaignan S, Siadat A, Dantan JY, Semenenko A.** MASON: A proposal for an ontology of manufacturing domain. *Proceedings - DIS 2006: IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems - Collective Intelligence and Its Applications*; 2006: 195-200.
- [16] **Borgo S, Leitão P.** Foundations for a Core Ontology of Manufacturing. *Ontologies. Integrated Series in Information Systems*; 2007: 751-775.
- [17] **Cândido G, Barata J.** A multiagent control system for shop floor assembly. *HoloMAS: International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*; 2007: 293-302.
- [18] **Rizvanov DA, Yusupova NI.** Intelligent decision support for resource management of complex systems based on multi-agent approach [In Russian]. *Ontology of Designing*; 2015; 3(17): 297-312. - DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [19] **Vrba P, Radaković M, Obitko M, Mařík V.** Semantic Extension of Agent-Based Control: The Packing Cell Case Study; 2009: 47-60.
- [20] **Järvenpää E, Siltala N, Hylli O, Lanz M.** The development of an ontology for describing the capabilities of manufacturing resources. *Journal of Intelligent Manufacturing*; 2019; 30: 959-978.
- [21] **Backhaus J, Reinhart G.** Digital description of products, processes and resources for task-oriented programming of assembly systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*; 2015; 28(8): 1787-1800.
- [22] **Usman Z, Young R, Chungoora N, Palmer C, Case K, Harding J.** A Manufacturing Core Concepts Ontology for Product Lifecycle Interoperability. *Enterprise Interoperability. IWEI 2011. Lecture Notes in Business Information Processing*; 2011; 76: 5-18.
- [23] **Minhas S, Berger U.** Ontology Based Environmental Knowledge Management - A System to Support Decisions in Manufacturing Planning. *6th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development*; 2014: 397-404.
- [24] **Sormaz D, Sarkar A.** SIMPM – Upper-level ontology for manufacturing process plan network generation. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*; 2019; 55: 183-198.
- [25] **Giovannini A, Aubry A, Panetto H, Dassisti M, Haouzi H.** Knowledge-based system for supporting manufacturing sustainability. *Annual Reviews in Control*; 2012; 36(2): 309-317.
- [26] **Chungoora N, Young RI, Gunendran G, Palmer C, Usman Z, Anjum NA, Cutting-Decelle AF, Harding JA, Case K.** A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing. *Computers in Industry*; 2013; 64(4): 392-401.
- [27] **Chandrasegaran K, Ramani K, Sriram RD, Horváth I, Bernard A, Harik RF, Gao W.** The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design. *Computer-Aided Design*; 2013; 45(2): 204–228.
- [28] **Matyushin MM, Vakurina TG, Kotela VV, Skobelev PO, Lahin OI, Kozhevnikov SS, Simonova EV, Noskova AI.** Methods and tools for the construction of ontologies for visualization of related information objects of arbitrary nature in complex information and analytical systems [In Russian]. *Information management systems*; 2014; 2: 9-17.
- [29] **Skobelev P, Ivanov A, Simonova E, Travin V, Zhilyaev A.** Multi-agent scheduling of communication sessions between microsatellites and ground stations network. *Ontology of Designing*; 2014; 2(12): 92-100.
- [30] **Skobelev PO, Zhilyaev AA, Mayorov IV, Eliseev VG, Travin VS, Simonova EV.** Operational resource management of enterprises on the basis of multi-agent approach [In Russian]. *Proceedings of the XIX International Conference "Problems of control and modeling in complex systems"*; 2017: 474-485.

## Сведения об авторе



**Жиляев Алексей Александрович**, 1992 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва в 2014 г. Старший программист в научно-производственной компании «Разумные решения». В списке научных трудов более 15 работ в области разработки мультиагентных систем управления ресурсами.

**Aleksey Aleksandrovich Zhilyaev** (b. 1992) graduated from the Samara State Aerospace University in 2014. Works as a senior software developer in SEC «Smart Solutions». He is co-author of about 15 scientific articles in the field of development of multi-agent systems for resource management.

УДК 519.5

## ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ПРИНЯТИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

С.А. Пиявский

Московский городской педагогический университет (Самарский филиал), Самара, Россия  
spiyav@mail.ru

### Аннотация

Проблема многокритериального выбора является ключевым элементом принятия сложных решений. Предложен ряд методов, позволяющих предполагать, что принимаемые с их использованием решения наиболее рациональны. Их основным элементом является линейная свёртка частных критериев, а различие состоит в тех или иных эвристических или экспертных способах задания числовых коэффициентов сравнительной важности критериев. Ранее автором был разработан подход, который позволяет применять при формировании линейной свёртки заранее рассчитанные универсальные таблицы числовых коэффициентов важности частных критериев. Для расчёта использовался преимущественно метод Монте-Карло, что при большом числе критериев создавало значительные вычислительные трудности из-за недостаточной точности датчика случайных чисел и лавинообразного увеличения объёма вычислений. В настоящей статье получены формулы для расчёта универсальных коэффициентов важности. Они основаны на нумерологическом подходе, обобщающем закономерности, которые проявились при анализе рассчитанных статистическим методом таблиц универсальных коэффициентов. Полученные формулы позволяют использовать универсальные коэффициенты важности критериев в задачах с любым количеством критериев без специального программного обеспечения.

**Ключевые слова:** принятие решений, многокритериальный выбор, универсальные коэффициенты важности критериев, нумерологический подход.

**Цитирование:** Пиявский, С.А. Формулы для вычисления универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №2(32). - С.282-298. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.

### Введение

В методах принятия решений на основе многокритериальной модели (например, [1-10]) присутствуют два момента: объективный и субъективный. Объективный момент связан с адекватностью полноты и точности описания сущности решаемой проблемы – и здесь привлечение лицом, принимающим решение (ЛПР), различных экспертов в качестве источников достоверной информации следует только приветствовать, тем более что в этой функции ЛПР не может их заменить собой. Субъективный момент связан с сопоставлением частных критериев по их сравнительной важности в аспекте целостной ситуации, в рамках которой принимается решение. В этой функции ЛПР никто и никакой коллектив не может заменить, т.к. ответственность за последствия принятого решения несёт ЛПР. Поэтому важно, в каком виде тот или иной метод предусматривает формализованное выражение этой воли ЛПР.

В большинстве методов поддержки принятия решения предлагается облечь эту волю в форму числовых коэффициентов  $\alpha_i$  сравнительной важности  $n$  частных критериев [1-4]:

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \end{array} \right.$$

Это позволяет свести определение наиболее *рационального* решения  $y^*$  из множества допустимых решений  $Y$  к оптимизации на этом множестве скалярного критерия  $F$  (т.н. *комплексного* критерия, *свёртки* критериев) как некоторой функции от частных критериев  $f_i(y)$ ,  $i=1, \dots, n$ ,  $y \in Y$ , «взвешенных» своими коэффициентами важности:

$$(2) \quad F(y) = F(\alpha_1 f_1(y), \alpha_2 f_2(y), \dots, \alpha_n f_n(y)).$$

Если считать для определенности, что желательно минимизировать значения каждого частного критерия, то после задания коэффициентов (1) наиболее рациональное решение  $y^*$  определяется строго формальным путём:

$$F(y^*) = \min_{y \in Y} F(\alpha_1 f_1(y), \alpha_2 f_2(y), \dots, \alpha_n f_n(y))$$

при заданном значении вектора  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ . Однако, в этом субъективном моменте и таится основное препятствие к широкому применению на практике подобным образом формализованных методов поддержки принятия решений.

ЛПР – как отдельное лицо, так и выступающая в этом качестве небольшая группа лиц – хорошо понимает *условность* и *неопределённость* назначаемых коэффициентов (1), поскольку никакой человек не в состоянии облечь свои неформализованные предпочтения в столь точную числовую форму, и потому не доверяет полученному результату. Борясь с сомнениями, ЛПР может привлекать экспертов и формирует числовые значения коэффициентов важности критериев примерно по такому алгоритму: если 30% экспертов сказали, что второй критерий важнее первого, а остальные 70% сказали обратное, то коэффициенты важности критериев могут быть приняты соответственно 0,3 и 0,7.

В ряде методов (см., например, [8-10]) ЛПР предлагается произвести попарное сравнение критериев по важности, используя *порядковую шкалу*. На основе той или иной достаточно разумной гипотезы результаты переводятся в форму числовых коэффициентов. Но при этом сомнения переносятся на саму гипотезу. Например, известный ряд  $\{3, 5, 7, 9\}$  в *методе анализа иерархии* Т. Саати [8-10] из-за необходимости произвести множественные сравнения становится труднореализуемым на практике.

## 1 Постановка задачи

Начиная с работ [11-13] и, в особенности, в [14-16], а также в настоящей статье, последовательно развивается иной подход к субъективному моменту в принятии многокритериальных решений. Он состоит в том, что ЛПР должен формализовать свои предпочтения в отношении частных критериев оптимальности не в виде числовых коэффициентов или парных сравнений, а в виде *политики выбора*, распределив частные критерии по нескольким *группам важности*.

Пронумеруем группы важности по возрастанию важности входящих в них критериев индексом  $\mu$ , где  $\mu = 1, \dots, N \leq n$ . Обозначим через  $I_\mu$  множество индексов критериев, входящих в  $\mu$ -ю группу важности. Имеем

$$\left\{ \begin{array}{l} \bigcup_{\mu=1}^N I_\mu = \{1, \dots, n\}; \\ I_\mu \neq \emptyset, \mu = 1, \dots, N; \\ I_\mu \cap I_\nu = \emptyset, \mu = 1, \dots, N. \end{array} \right\}$$

Тогда, с формальной точки зрения, политика выбора задаётся ЛПР функцией  $\mu(i)$ ,  $i=1, \dots, n$ , однозначно сопоставляющей номеру каждого частного критерия отвечающий

ему номер некоторой группы важности. Это добавляет к условиям (1) следующие ограничения на значения коэффициентов важности критериев:

$$(3) \quad \alpha_i \geq \alpha_j \quad \forall i \neq j, \mu(i) > \mu(j), i, j \in \{1, \dots, n\}.$$

Соотношения (1), (3) определяют некоторую область  $X$  значений вектора коэффициентов важности критериев  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ . Каждый вектор из этой области удовлетворяет предпочтениям ЛПР (3) и потому с равным основанием должен быть учтён при формировании вектора коэффициентов важности  $\bar{\alpha} = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_n)$ , который используется в функции (2) для определения оптимального решения  $y^*$ .

В настоящее время в практике принятия решений в таких случаях комплексного учёта однородной по значимости информации используются два естественных подхода: *усредняющий* (принцип Лапласа) и *гарантирующий* (принцип максимина, Вальда и Ю.Б. Гермейера). В [14, 15] показано, что в обоих случаях комплексный вектор коэффициентов важности критериев не зависит от конкретной решаемой задачи принятия решения, а зависит лишь от того, как частные критерии распределены по группам важности в соответствии с (3).

При гарантирующем подходе для расчёта комплексного вектора коэффициентов важности критериев  $\bar{\alpha}$  в [16] получены соответствующие формулы. При усредняющем подходе в [14] показано, что компоненты вектора  $\bar{\alpha}$  можно определять по формуле

$$(4) \quad \bar{\alpha}_i = \frac{\int_{\alpha \in X} \alpha_i d\alpha}{\int_{\alpha \in X} d\alpha}, i = 1, \dots, n,$$

т.е. геометрически компоненты вектора  $\bar{\alpha}$  представляют собой координаты центра масс области  $X$ . Это позволяет вычислять коэффициенты (4) для небольшого числа критериев геометрическим путём, непосредственно вычисляя многомерные интегралы, а в общем случае - вычислять (4) приближённо методом статистических испытаний или прямым перебором с малым шагом. В [15] разработан метод масок, позволяющий приближённо вычислять (4), исключив метод статистических испытаний.

Однако следует признать, что при значительном числе критериев все эти методы порождают значительные вычислительные сложности, что создаёт определённые препятствия в реализации указанных методов в информационных системах поддержки принятия решений.

## 2 Формулы для расчёта задающих коэффициентов

В качестве исходной базы для разработки аналитических методов расчёта универсальных коэффициентов важности критериев в свёртке Лапласа используется предложенный в [15] нумерологический подход. Суть его заключается в том, чтобы, используя результаты, полученные для небольшого количества критериев (от 2 до 10), попытаться «угадать» аналитическое выражение, позволяющее получить результаты, совпадающие с базовыми, а затем использовать эти выражения уже в строгих математических рассуждениях.

Здесь за базу приняты результаты, представленные в таблицах 1–3, и показано их последовательное использование.

В таблице 1 приведены значения для расчёта универсальных коэффициентов важности критериев в свёртке Лапласа, полученные из строгих геометрических построений для числа критериев от 2 до 4. Значения в каждой строке таблицы 1 приведены к одному общему знаменателю.

Таблица 1 – Значения для расчёта универсальных коэффициентов важности критериев в свёртке Лапласа

Количество частных критериев в задаче принятия решений	Количество критериев в каждой группе важности				Универсальные значения коэффициентов важности критериев			
	Группа важности критериев				Группа важности критериев			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
2	2				1/2			
	1	1			1/4	3/4		
3	3				1/3			
	2	1			7/36	22/36		
	1	2			4/36	16/36		
4	1	1	1		4/36	10/36	22/36	
	4				12/48			
	3	1			8/48	25/48		
	2	2			5/48	19/48		
	1	3			3/48	15/48		
	2	1	1		5/48	13/48	25/48	
	1	2	1		3/48	10/48	25/48	
1	1	2		3/48	7/48	19/48		
	1	1	1	1	3/48	7/48	13/48	25/48

Для большего числа критериев геометрический подход применить не удалось, и потому был использован статистический подход, позволивший приблизительно рассчитать таблицы универсальных коэффициентов важности для количества критериев от 5 до 10. При большем числе критериев возрастает погрешность, вызванная несовершенством датчиков случайных чисел и недостаточным числом случайных испытаний. Однако десяти критериев вполне достаточно для проверки результатов, полученных с помощью нумерологической гипотезы.

В таблице 2 представлен фрагмент таблицы 1 для политик выбора, в которых в каждую группу важности входит лишь по одному критерию. Универсальные коэффициенты важности критериев в таких политиках выбора названы *задающими* коэффициентами. Можно заметить, что числа в правой части таблицы 2 ( задающие коэффициенты) подчиняются определённой закономерности.

- 1) общий знаменатель вычисляется по формуле  $n^2(n - 1)$ ;
- 2) числитель в первом столбце равен  $n - 1$ ;
- 3) числители остальных коэффициентов в строке, кроме последнего ненулевого, равны числителям коэффициентов, стоящих в таблице 2 непосредственно над ними плюс 2;
- 4) числитель последнего ненулевого коэффициента в строке равен разности  $n^2(n - 1)$  и суммы числителей всех остальных чисел в строке.

Таблица 2– Таблица задающих коэффициентов (фрагмент таблицы 1)

Количество частных критериев	Количество критериев в каждой группе важности				Универсальные значения коэффициентов важности критериев			
	Группа важности критериев				Группа важности критериев			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
2	1	1			1/4	3/4		
3	1	1	1		2/18	5/18	11/18	
4	1	1	1	1	3/48	7/48	13/48	25/48

Используя эту нумерологическую гипотезу, можно последовательно построить аналогичные таблицы задающих коэффициентов для любого количества критериев. В таблицах 3 и 4 показаны задающие коэффициенты для количеств критериев от 2 до 10. Их сравнение с аналогичными результатами, рассчитанными статистическим подходом, подтвердили

достоверность этой нумерологической гипотезы и дают основания распространить её на любое число критериев. Относительное отклонение этих значений от полученных статистическим методом не превышает нескольких процентов и связано с ограниченным числом испытаний в статистическом методе и несовершенством датчика случайных чисел.

Таблица 3 – Числитель и знаменатель формулы для расчёта задающих коэффициентов

Количество критериев	Знаменатель формулы	Числитель формулы									
		Группа важности критерия									
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
2	4	1	3								
3	18	2	5	11							
4	48	3	7	13	25						
5	100	4	9	15	27	45					
6	180	5	11	17	29	47	71				
7	294	6	13	19	31	49	73	103			
8	448	7	15	21	33	51	75	105	141		
9	648	8	17	23	35	53	77	107	143	185	
10	900	9	19	25	37	55	79	109	145	187	235

Таблица 4 – Задающие коэффициенты (расчёт по предложенным формулам)

Количество критериев	Числитель формулы									
	Группа важности критерия									
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
2	0,2500	0,7500								
3	0,1111	0,2778	0,6111							
4	0,0625	0,1458	0,2708	0,5208						
5	0,0400	0,0900	0,1500	0,2700	0,4500					
6	0,0278	0,0611	0,0944	0,1611	0,2611	0,3944				
7	0,0204	0,0442	0,0646	0,1054	0,1667	0,2483	0,3503			
8	0,0156	0,0335	0,0469	0,0737	0,1138	0,1674	0,2344	0,3147		
9	0,0123	0,0262	0,0355	0,0540	0,0818	0,1188	0,1651	0,2207	0,2855	
10	0,0100	0,0211	0,0278	0,0411	0,0611	0,0878	0,1211	0,1611	0,2078	0,2611

На основе этого в [15] предложен алгоритм вычисления универсальных коэффициентов важности критериев для любого числа критериев. Для этого используются задающие коэффициенты и так называемая «маска» рассчитываемой универсальной таблицы. Однако подобный путь построения таблиц при большем числе критериев очень трудоёмок.

Формулу для вычисления задающих коэффициентов из таблицы 4 можно представить в виде:

$$a_{ns} = \begin{cases} 1/n^2 & \text{при } s = 1, \\ \frac{C_s + 2n - 1}{n^2(n - 1)} & \text{при } 1 < s \leq n, \end{cases}$$

где  $s$  - группа важности,  $a_{ns}$  – универсальные коэффициенты важности в политике выбора для  $n$  критериев, в которой каждая группа важности включает ровно один критерий. Задающий параметр  $C_s$  принимает значения, указанные в таблице 5.

Таблица 5 – Значения задающего параметра  $C_s$ 

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_s$	нет	0	6	18	36	60	90	126	168	216

Формула для вычисления значения задающего параметра из таблицы 5 имеет вид:

$$C_s = 3(s-1)(s-2) \text{ при } s > 1.$$

Окончательно имеем

$$(5) \quad a_{ns} = \begin{cases} 1/n^2 & \text{при } s = 1, \\ \frac{3(s-1)(s-2) + 2n-1}{n^2(n-1)} & \text{при } 1 < s \leq n. \end{cases}$$

Например, в частном случае  $n = 2, s = 2$  получаем

$$a_{22} = \frac{3 \times 1 \times 0 + 4 - 1}{4 \times 1} = \frac{3}{4}.$$

Эта формула даёт те же результаты, что приведены в таблицах 1-4.

Важность формулы (5) стоит в том, что согласно нумерологической гипотезе она может быть распространена на любое число критериев и групп важности, хотя получена на экспериментальной основе для числа критериев от 2 до 10 и соответствующих этому количеству групп важности.

Поскольку можно разработать алгоритм последовательного построения масок таблиц универсальных коэффициентов важности для любого числа критериев, возникла возможность отказаться от приближённого статистического метода расчёта универсальных таблиц и строить эти таблицы по точному алгоритму. Кроме того, существенно уменьшаются требования к объёму памяти БД универсальных коэффициентов важности, поскольку можно хранить не сами таблицы, а их маски.

### 3 Формулы для расчета универсальных коэффициентов важности «крайних по важности» критериев

Вычислим универсальный коэффициент  $a_{nk}$  при критериях из группы наиболее важных критериев (крайние справа для политики выбора - цепочке  $1, \dots, 1, k$ ). Здесь  $n$  - общее количество критериев, а  $k$  - количество критериев в цепочке, входящих в группу самых важных, так что единиц в этой цепочке  $n - k$ . Исходя из того, что сумма коэффициентов всех критериев в цепочке с учётом (5) равна 1, получим

$$(6) \quad a_{nk} = \frac{1 - \frac{n-1}{n^2(n-1)} - \sum_{s=2}^{n-k} \frac{3(s-1)(s-2) + 2n-1}{n^2(n-1)}}{k}.$$

В цепочке, где первые  $n - k$  элементов равны 1, их коэффициенты вычитаются из 1, а затем результат делится на количество самых важных критериев.

С учётом (6)

$$S_{nk} \equiv \sum_{s=1}^{n-k} a_{ns} = \frac{1}{n^2} + \sum_{s=2}^{n-k} \frac{3(s-1)(s-2) + 2n-1}{n^2(n-1)} =$$

$$= \frac{1}{n^2} + \frac{1}{n^2(n-1)} (3 \sum_{s=2}^{n-k} s^2 - 9 \sum_{s=2}^{n-k} s + \sum_{s=2}^{n-k} (6 + 2n - 1)).$$

По известным формулам суммирования рядов (см., например, [17])

$$\sum_{s=1}^q s = \frac{q}{2}(q+1),$$

$$\sum_{s=1}^q s^2 = \frac{q}{6}(2q^2 + 3q + 1).$$

Тогда

$$q_1 \equiv \sum_{s=2}^{n-k} s = \frac{n-k}{2}(n-k+1) - 1,$$

$$q_2 \equiv \sum_{s=2}^{n-k} s^2 = \frac{n-k}{6}(2(n-k)^2 + 3(n-k) + 1) - 1.$$

Соответственно

$$S_{nk} = \frac{1}{n^2} (1 + \frac{1}{(n-1)} (3q_2 - 9q_1 + (2n+5)(n-k-1))).$$

Например, в частном случае  $n = 2, k = 2$  получаем

$$q_1 = \frac{1}{2} \times 2 - 1 = 0, \quad q_2 = \frac{1}{6} (2 + 3 + 1) - 1 = 0, \quad S_{21} = \frac{1}{4} (1 + 9 \times 0) = \frac{1}{4}.$$

Чтобы получить  $a_{nk}^r$  - значение универсального коэффициента важности критерия (верхний индекс обозначает *right*) для самых важных  $k$  критериев из общего числа критериев  $n$  - нужно вычесть  $S_{nk}$  из единицы и поделить результат на  $k$ :

$$(7) \quad a_{nk}^r = \frac{1 - S_{nk}}{k}.$$

Далее можно найти  $a_{nk}^l$  - значение универсального коэффициента важности критерия (верхний индекс обозначает *left*) для наименее важных  $p$  критериев из общего числа критериев  $n$ . Для этого следует рассмотреть цепочку  $p, (n-p)$ . Поскольку сумма универсальных коэффициентов всех критериев равна единице, то

$$(8) \quad a_{nk}^l = \frac{1 - (n-p)a_{nk}^r}{p}.$$

В качестве примера в таблице 6 приведены результаты расчётов по формулам (7), (8) для шести критериев.

Таблица 6 - «Крайние по важности» (правый и левый) универсальные коэффициенты важности шести критериев

Количество наиболее ( $k$ ) или наименее ( $p$ ) важных критериев	$q_1$	$q_2$	$S$	$a_{nk}^r$	$a_{nk}^l$
1	14	54	0,606	0,394	0,028
2	9	29	0,344	0,328	0,044
3	5	13	0,183	0,272	0,061
4	2	4	0,089	0,228	0,086
5	0	0	0,028	0,194	0,121

#### 4 Таблицы универсальных коэффициентов важности критериев при принятии решений с двумя группами важности

В практических задачах используется ограниченное количество групп важности, чаще всего не более трёх. Используя формулы (7), (8), легко рассчитать точное значение универсальных коэффициентов важности критериев в любых задачах принятия решений, в которых используются не более трёх групп важности критериев. Так, в таблице 7 приведены значения универсальных коэффициентов важности критериев для двух групп важности при общем числе критериев от 2 до 10.

На основе таблицы 7 на рисунке 1 показаны суммарные значения универсальных коэффициентов важности критериев, относящихся к одинаковой группе важности, в зависимости от относительного количества критериев соответствующей группы важности в общем количестве критериев.

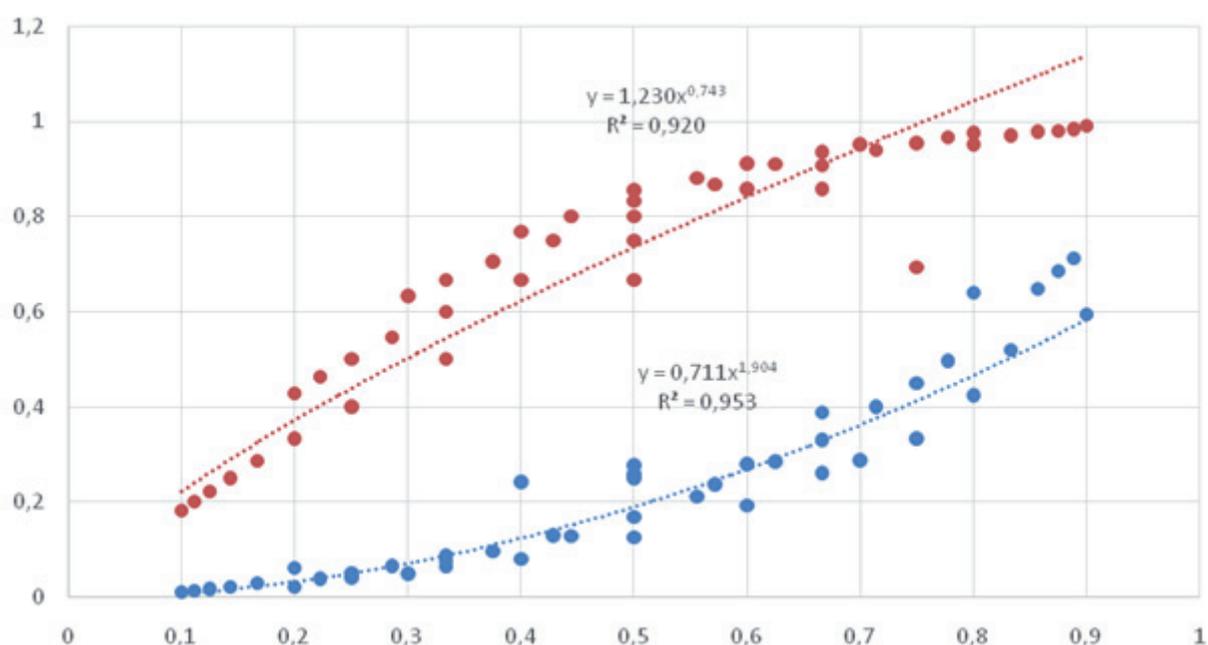


Рисунок 1 – К приближённому вычислению универсальных коэффициентов важности критериев при двух группах важности

Видно, что с приемлемой погрешностью можно использовать вместо таблицы 7 или более громоздких формул (7), (8) простые приближённые формулы:

$$a_{nk}^r = \frac{1,231}{k} \left( \frac{k}{n} \right)^{0,74} \quad (\text{квадрат коэффициента корреляции Пирсона } R^2=0,92).$$

$$a_{np}^l = \frac{0,712}{p} \left( \frac{p}{n} \right)^{1,9} \quad (\text{квадрат коэффициента корреляции Пирсона } R^2=0,95),$$

где  $k$  и  $p$  – количество критериев соответственно большей и меньшей важности.

Таблица 7 - Универсальные коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений с двумя группами важности

Общее количество критериев	Распределение критериев по группам важности		Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Лапласа		Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Гермейера	
			$F = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [14])		$F = \max_{i=1, \dots, n} \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [16])	
<i>n</i>	B1	B2	B1	B2	B1	B2
2	1	1	0,250	0,750	0,333	0,667
3	1	2	0,111	0,444	0,143	0,429
3	2	1	0,194	0,611	0,250	0,500
4	1	3	0,063	0,313	0,077	0,308
4	2	2	0,104	0,396	0,125	0,375
4	3	1	0,160	0,521	0,200	0,400
5	1	4	0,040	0,240	0,048	0,238
5	2	3	0,065	0,290	0,071	0,286
5	3	2	0,093	0,360	0,111	0,333
5	4	1	0,138	0,450	0,167	0,333
6	1	5	0,028	0,194	0,032	0,194
6	2	4	0,044	0,228	0,045	0,227
6	3	3	0,061	0,272	0,067	0,267
6	4	2	0,086	0,328	0,100	0,300
6	5	1	0,121	0,394	0,143	0,286
7	1	6	0,020	0,163	0,023	0,163
7	2	5	0,032	0,187	0,031	0,188
7	3	4	0,043	0,218	0,043	0,217
7	4	3	0,059	0,255	0,063	0,25
7	5	2	0,080	0,299	0,091	0,273
7	6	1	0,108	0,350	0,125	0,250
8	1	7	0,016	0,141	0,018	0,140
8	2	6	0,025	0,158	0,023	0,159
8	3	5	0,032	0,181	0,030	0,182
8	4	4	0,042	0,208	0,042	0,208
8	5	3	0,057	0,239	0,059	0,235
8	6	2	0,075	0,275	0,083	0,250
8	7	1	0,098	0,315	0,111	0,222
9	1	8	0,012	0,123	0,014	0,123
9	2	7	0,019	0,137	0,017	0,138
9	3	6	0,025	0,154	0,022	0,156
9	4	5	0,032	0,174	0,029	0,176
9	5	4	0,042	0,198	0,040	0,200
9	6	3	0,055	0,224	0,056	0,222
9	7	2	0,071	0,253	0,077	0,231
9	8	1	0,089	0,285	0,100	0,200
10	1	9	0,010	0,110	0,011	0,110
10	2	8	0,016	0,121	0,014	0,122
10	3	7	0,020	0,134	0,017	0,136
10	4	6	0,025	0,150	0,022	0,152
10	5	5	0,032	0,168	0,029	0,171
10	6	4	0,041	0,188	0,038	0,192
10	7	3	0,053	0,210	0,053	0,211
10	8	2	0,066	0,234	0,071	0,214
10	9	1	0,082	0,261	0,091	0,182

## 5 Таблицы универсальных коэффициентов важности критериев при принятии решений с тремя группами важности

Используя соотношения (7), (8), легко получить формулу для расчёта универсального коэффициента важности для  $t$  критериев средней важности  $a_{nt}^m$  (верхний индекс обозначает *middle*) в задачах принятия решений, в которых, при любом количестве критериев, количество групп важности равно трём:

$$(9) \quad a_{nt}^m = \frac{1 - pa_{np}^l - ka_{nk}^r}{t}.$$

В таблице 8 приведены коэффициенты важности критериев при трёх группах важности для количества критериев от 3 до 10.

На основе таблицы 8 на рисунке 2 показаны суммарные значения универсальных коэффициентов важности критериев, относящихся к одинаковой группе важности, в зависимости от относительного количества критериев соответствующей группы важности в общем количестве критериев. Видно, что с приемлемой погрешностью можно использовать вместо таблицы 8 или более громоздких формул (7), (8) простые приближённые формулы:

$$a_{nk}^r = \frac{1,319}{k} \left( \frac{k}{n} \right)^{0,672} \quad (\text{квадрат коэффициента корреляции Пирсона } R^2=0,98),$$

$$a_{np}^l = \frac{0,609}{p} \left( \frac{p}{n} \right)^{1,789} \quad (\text{квадрат коэффициента корреляции Пирсона } R^2=0,99),$$

где  $k, t, p$  – количество членов групп критериев по убыванию важности соответственно.

Таблица 8 - Универсальные коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений с тремя группами важности (начало)

Общее количество критериев	Распределение критериев по группам важности			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Лапласа $F = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [14])			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Гермейера $F = \max_{i=1, \dots, n} \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [16])		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
3	1	1	1	0,111	0,278	0,611	0,182	0,273	0,545
4	2	1	1	0,104	0,271	0,521	0,154	0,231	0,462
4	1	2	1	0,063	0,208	0,521	0,111	0,222	0,444
4	1	1	2	0,063	0,146	0,396	0,097	0,129	0,387
5	3	1	1	0,093	0,270	0,450	0,133	0,200	0,400
5	2	2	1	0,065	0,210	0,450	0,100	0,200	0,400
5	1	3	1	0,040	0,170	0,450	0,074	0,185	0,370
5	2	1	2	0,065	0,150	0,360	0,088	0,118	0,353
5	1	2	2	0,040	0,120	0,360	0,070	0,116	0,349
5	1	1	3	0,040	0,090	0,290	0,058	0,072	0,290
6	4	1	1	0,086	0,261	0,394	0,118	0,176	0,353
6	3	2	1	0,061	0,211	0,394	0,091	0,182	0,364
6	2	3	1	0,044	0,172	0,394	0,069	0,172	0,345
6	1	4	1	0,028	0,144	0,394	0,053	0,158	0,316
6	3	1	2	0,061	0,161	0,328	0,081	0,108	0,324
6	2	2	2	0,044	0,128	0,328	0,065	0,109	0,326
6	1	3	2	0,028	0,106	0,328	0,053	0,105	0,316
6	2	1	3	0,044	0,094	0,272	0,055	0,068	0,274

Таблица 8 - Универсальные коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений с тремя группами важности (продолжение)

Общее количество критериев <i>n</i>	Распределение критериев по группам важности			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Лапласа $F = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [14])			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Гермейера $F = \max_{i=1, \dots, n} \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [16])		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
6	1	2	3	0,028	0,078	0,272	0,045	0,068	0,273
6	1	1	4	0,028	0,061	0,228	0,038	0,046	0,229
7	5	1	1	0,080	0,248	0,350	0,105	0,158	0,316
7	4	2	1	0,059	0,207	0,350	0,083	0,167	0,333
7	3	3	1	0,043	0,173	0,350	0,065	0,161	0,323
7	2	4	1	0,032	0,146	0,350	0,050	0,150	0,300
7	1	5	1	0,020	0,126	0,35	0,039	0,137	0,275
7	4	1	2	0,059	0,167	0,299	0,075	0,100	0,300
7	3	2	2	0,043	0,136	0,299	0,061	0,102	0,306
7	2	3	2	0,032	0,112	0,299	0,050	0,100	0,300
7	1	4	2	0,020	0,095	0,299	0,041	0,096	0,288
7	3	1	3	0,043	0,105	0,255	0,052	0,065	0,260
7	2	2	3	0,032	0,085	0,255	0,043	0,065	0,261
7	1	3	3	0,020	0,071	0,255	0,037	0,064	0,257
7	2	1	4	0,032	0,065	0,218	0,037	0,044	0,221
7	1	2	4	0,020	0,054	0,218	0,031	0,044	0,220
7	1	1	5	0,020	0,044	0,187	0,027	0,031	0,188
8	6	1	1	0,075	0,234	0,315	0,095	0,143	0,286
8	5	2	1	0,057	0,201	0,315	0,077	0,154	0,308
8	4	3	1	0,042	0,172	0,315	0,061	0,152	0,303
8	3	4	1	0,032	0,147	0,315	0,048	0,143	0,286
8	2	5	1	0,025	0,127	0,315	0,038	0,132	0,264
8	1	6	1	0,016	0,112	0,315	0,030	0,121	0,242
8	5	1	2	0,057	0,167	0,275	0,070	0,093	0,279
8	4	2	2	0,042	0,141	0,275	0,058	0,096	0,288
8	3	3	2	0,032	0,118	0,275	0,048	0,095	0,286
8	2	4	2	0,025	0,100	0,275	0,039	0,092	0,276
8	1	5	2	0,016	0,087	0,275	0,033	0,088	0,264
8	4	1	3	0,042	0,114	0,239	0,049	0,062	0,247
8	3	2	3	0,032	0,094	0,239	0,042	0,063	0,250
8	2	3	3	0,025	0,078	0,239	0,035	0,062	0,248
8	1	4	3	0,016	0,067	0,239	0,030	0,061	0,242
8	3	1	4	0,032	0,074	0,208	0,035	0,043	0,213
8	2	2	4	0,025	0,060	0,208	0,030	0,043	0,213
8	1	3	4	0,016	0,051	0,208	0,026	0,042	0,212
8	2	1	5	0,025	0,047	0,181	0,026	0,031	0,183
8	1	2	5	0,016	0,040	0,181	0,023	0,031	0,183
8	1	1	6	0,016	0,033	0,158	0,020	0,023	0,160
9	7	1	1	0,071	0,221	0,285	0,087	0,130	0,261
9	6	2	1	0,055	0,193	0,285	0,071	0,143	0,286
9	5	3	1	0,042	0,168	0,285	0,057	0,143	0,286
9	4	4	1	0,032	0,147	0,285	0,045	0,136	0,273
9	3	5	1	0,025	0,128	0,285	0,036	0,127	0,255
9	2	6	1	0,019	0,113	0,285	0,029	0,118	0,235
9	1	7	1	0,012	0,100	0,285	0,024	0,108	0,217
9	6	1	2	0,055	0,165	0,253	0,065	0,087	0,261

Таблица 8 - Универсальные коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений с тремя группами важности (продолжение)

Общее количество критериев	Распределение критериев по группам важности			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Лапласа			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Гермейера		
				$F = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [14])			$F = \max_{i=1, \dots, n} \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [16])		
$n$	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
9	5	2	2	0,042	0,142	0,253	0,055	0,091	0,273
9	4	3	2	0,032	0,122	0,253	0,045	0,091	0,273
9	3	4	2	0,025	0,105	0,253	0,038	0,089	0,266
9	2	5	2	0,019	0,091	0,253	0,032	0,085	0,255
9	1	6	2	0,012	0,080	0,253	0,027	0,081	0,243
9	5	1	3	0,042	0,119	0,224	0,047	0,059	0,235
9	4	2	3	0,032	0,100	0,224	0,04	0,060	0,240
9	3	3	3	0,025	0,085	0,224	0,034	0,060	0,239
9	2	4	3	0,019	0,073	0,224	0,029	0,059	0,235
9	1	5	3	0,012	0,063	0,224	0,025	0,057	0,229
9	4	1	4	0,032	0,082	0,198	0,034	0,041	0,205
9	3	2	4	0,025	0,068	0,198	0,030	0,041	0,207
9	2	3	4	0,019	0,057	0,198	0,026	0,041	0,206
9	1	4	4	0,012	0,049	0,198	0,023	0,041	0,204
9	3	1	5	0,025	0,054	0,174	0,026	0,030	0,179
9	2	2	5	0,019	0,045	0,174	0,022	0,030	0,179
9	1	3	5	0,012	0,039	0,174	0,02	0,030	0,178
9	2	1	6	0,019	0,035	0,154	0,02	0,022	0,156
9	1	2	6	0,012	0,031	0,154	0,017	0,022	0,156
9	1	1	7	0,012	0,026	0,137	0,015	0,017	0,138
10	8	1	1	0,066	0,208	0,261	0,080	0,120	0,240
10	7	2	1	0,053	0,184	0,261	0,067	0,133	0,267
10	6	3	1	0,041	0,163	0,261	0,054	0,135	0,270
10	5	4	1	0,032	0,144	0,261	0,043	0,130	0,261
10	4	5	1	0,025	0,128	0,261	0,035	0,123	0,246
10	3	6	1	0,020	0,113	0,261	0,029	0,114	0,229
10	2	7	1	0,016	0,101	0,261	0,024	0,106	0,212
10	1	8	1	0,01	0,091	0,261	0,020	0,098	0,196
10	7	1	2	0,053	0,161	0,234	0,061	0,082	0,245
10	6	2	2	0,041	0,141	0,234	0,052	0,086	0,259
10	5	3	2	0,032	0,123	0,234	0,043	0,087	0,261
10	4	4	2	0,025	0,108	0,234	0,037	0,085	0,256
10	3	5	2	0,020	0,094	0,234	0,031	0,082	0,247
10	2	6	2	0,016	0,083	0,234	0,026	0,079	0,237
10	1	7	2	0,010	0,074	0,234	0,023	0,075	0,226
10	6	1	3	0,041	0,121	0,210	0,045	0,056	0,225
10	5	2	3	0,032	0,104	0,210	0,038	0,058	0,231
10	4	3	3	0,025	0,090	0,210	0,033	0,058	0,231
10	3	4	3	0,020	0,078	0,210	0,029	0,057	0,229
10	2	5	3	0,016	0,068	0,210	0,025	0,056	0,224
10	1	6	3	0,010	0,060	0,210	0,022	0,054	0,217
10	5	1	4	0,032	0,088	0,188	0,033	0,040	0,199
10	4	2	4	0,025	0,074	0,188	0,029	0,040	0,201
10	3	3	4	0,020	0,063	0,188	0,025	0,040	0,201
10	2	4	4	0,016	0,054	0,188	0,022	0,040	0,199
10	1	5	4	0,010	0,048	0,188	0,020	0,039	0,196

Таблица 8 - Универсальные коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений с тремя группами важности (окончание)

Общее количество критериев $n$	Распределение критериев по группам важности			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Лапласа $F = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [14])			Универсальные коэффициенты важности критериев в свёртке Гермейера $F = \max_{i=1, \dots, n} \alpha_i f_i \rightarrow \min$ (по [16])		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
10	4	1	5	0,025	0,061	0,168	0,025	0,029	0,174
10	3	2	5	0,020	0,051	0,168	0,022	0,029	0,175
10	2	3	5	0,016	0,043	0,168	0,019	0,029	0,175
10	1	4	5	0,010	0,038	0,168	0,017	0,029	0,173
10	3	1	6	0,020	0,041	0,150	0,019	0,022	0,153
10	2	2	6	0,016	0,034	0,150	0,017	0,022	0,154
10	1	3	6	0,010	0,03	0,150	0,015	0,022	0,153
10	2	1	7	0,016	0,028	0,134	0,015	0,017	0,136
10	1	2	7	0,010	0,024	0,134	0,014	0,017	0,136
10	1	1	8	0,010	0,021	0,121	0,012	0,014	0,122

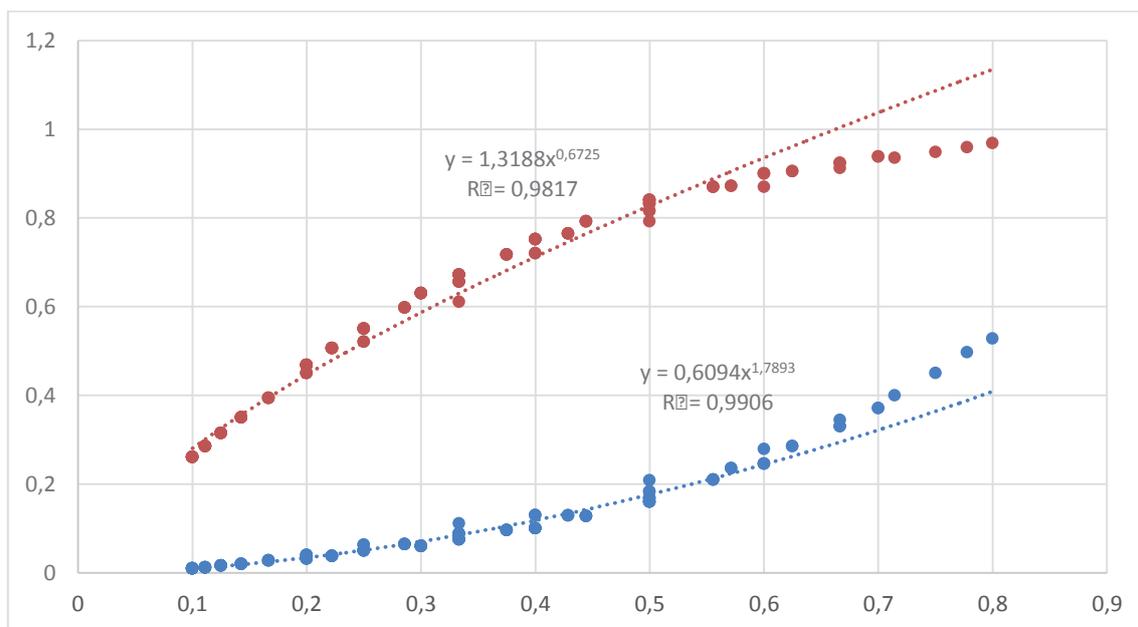


Рисунок 2 – К приближенному вычислению универсальных коэффициентов важности критериев при трёх группах важности

## 6 Алгоритм формирования таблиц универсальных коэффициентов важности критериев при любом числе групп важности

На первом шаге алгоритма формулы (7) и (8) позволяют для каждой цепочки формируемой таблицы рассчитать значения коэффициентов, окаймляющих соответствующую ей строку универсальных коэффициентов, а также частично заполнить внутреннюю часть ряда строк.

На втором шаге алгоритма последовательно просматриваются все не полностью заполненные строки универсальных коэффициентов и в тех из них, в которых неустановленным остаётся лишь один коэффициент, он вычисляется исходя из условия равенства единице суммы коэффициентов при всех критериях.

На третьем шаге используется описанный в [14] краевой эффект для того, чтобы распространить уже рассчитанные значения универсальных коэффициентов на новые совпадающие крайние части цепочек.

Затем шаги, начиная со второго, повторяются до полного заполнения всей таблицы.

## 7 Формула вычисления универсальных коэффициентов важности критериев при любой политике выбора

Логика описанного алгоритма позволяет получить общую формулу для расчёта точных значений универсальных коэффициентов важности для  $n$  критериев для любой заданной цепочки  $i_1, i_2, \dots, i_N$ ,  $\sum_{j=1}^N i_j = n$ .

Обозначим эти коэффициенты  $a_{ni_j}^j$ ,  $j = 1, \dots, N$ ,  $\sum_{j=1}^N i_j = n$ ,  $\sum_{j=1}^N a_{ni_j}^j = 1$ .

Для критериев, отвечающих левому элементу цепочки, по определению, универсальный коэффициент важности равен

$$(10) \quad a_{ni_1}^1 = a_{ni_1}^l.$$

Для того, чтобы найти коэффициент, отвечающий второму слева элементу цепочки, рассмотрим вспомогательную цепочку  $i_1, i_2, (n - i_1 - i_2)$ . Для отвечающих ей универсальных коэффициентов важности критериев известны левый и правый коэффициенты (по (8) и (7)), а тогда

$$(11) \quad a_{ni_2}^2 = \frac{1 - i_1 a_{ni_1}^l - (n - i_1 - i_2) a_{ni_{(n-i_1-i_2)}}^r}{i_2}.$$

Но из цепочки  $i_1, (n - i_1)$  следует, что  $1 - i_1 a_{ni_1}^l = (n - i_2) a_{ni_{(n-i_2)}}^r$ , поэтому (9) переходит в

$$(12) \quad a_{ni_2}^2 = \frac{(n - i_2) a_{ni_{(n-i_2)}}^r - (n - i_1 - i_2) a_{ni_{(n-i_1-i_2)}}^r}{i_2}.$$

Аналогично, для третьего слева элемента исходной цепочки, рассматривая вспомогательную цепочку  $i_1, i_2, i_3, (n - i_1 - i_2 - i_3)$ , получим

$$a_{ni_3}^3 = \frac{1 - i_1 a_{ni_1}^l - i_2 a_{ni_2}^2 - (n - i_1 - i_2 - i_3) a_{ni_{(n-i_1-i_2-i_3)}}^r}{i_3},$$

и далее, следуя изложенным соображениям,

$$(13) \quad a_{ni_3}^3 = \frac{(n - i_1 - i_2) a_{ni_{(n-i_1-i_2)}}^r - (n - i_1 - i_2 - i_3) a_{ni_{(n-i_1-i_2-i_3)}}^r}{i_3}.$$

Обобщая (10) - (13), получим общую формулу для универсальных коэффициентов важности критериев любой цепочки  $i_1, i_2, \dots, i_N$ ,  $\sum_{j=1}^N i_j = n$ :

$$a_{ni_j}^j = \begin{cases} a_{ni_1}^l & \text{при } j = 1, \\ \frac{(n - \sum_{q=1}^{j-1} i_q) a_{ni_{(n-\sum_{q=1}^{j-1} i_q)}}^r - (n - \sum_{q=1}^j i_q) a_{ni_{(n-\sum_{q=1}^j i_q)}}^r}{i_j} & \text{при } j = 2, \dots, N-1, \\ a_{ni_N}^r & \text{при } j = N, \end{cases}$$

или

$$a_{ni_j}^j = \begin{cases} a_{ni_1}^l & \text{при } j = 1, \\ \frac{(n - \frac{(j-1)j}{2})a_{n, (n - \frac{(j-1)j}{2})}^r - (n - \frac{j(j+1)}{2})a_{n, (n - \frac{j(j+1)}{2})}^r}{i_j} & \text{при } j = 2, \dots, N-1, \\ a_{ni_N}^r & \text{при } j = N. \end{cases}$$

## Обсуждение

Полученные формулы для расчёта универсальных коэффициентов важности критериев обеспечивают достаточно простое использование методов обоснования многокритериальных решений в самых различных областях. Для этого, в случае распределения критериев между двумя–тремя группами важности не требуется специальных компьютерных программ, достаточно воспользоваться компактными таблицами 7 и 8. Для таблиц от двух до пяти групп важности можно издать компактный справочник для ЛПР. Видно, что размер таблицы универсальных коэффициентов важности критериев до  $n$  критериев при  $N$  группах важности есть число сочетаний из  $n$  по  $N$ , т.е.  $C_n^N$ .

Программа, использующая представленные в статье формулы, снимает любые ограничения на размеры решаемых задач и позволяет внести новое качество в процедуру принятия решений, т.к. ЛПР получает возможность, не привлекая посторонних лиц (экспертов), многократно анализировать связь своих предпочтений со следуемыми из них решениями.

Полученные расчётные формулы формализуют подход, связанный с политиками выбора и универсальными коэффициентами важности критериев для средневзвешенной и гарантирующей оценок эффективности решений.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, научный проект № 18-08-00858 А, 09.02.2018.

## Список источников

- [1] *Ларичев, О.И.* Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
- [2] *Ларичев, О.И.* Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев // ИСИ РАН. – М.: Наука, 2006. – 181 с.
- [3] *Черноруцкий, И.Г.* Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
- [4] *Лебедев, А.А.* Курс системного анализа / А.А. Лебедев. - М.: Машиностроение/Машиностроение-Полет, 2010. – 256 с.
- [5] *Johannes, J.* Vector Optimization: Theory, Applications, and Extensions / J. Johannes. - Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2010. - 460 p.
- [6] *Ansari, H.Q.* Recent Developments in Vector Optimization / H.Q. Ansari, Y Jen-Chih. - Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag, 2010. - 550 p.
- [7] *Hirotsuka, N.* Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence / N. Hirotsuka, Y. Yeboon, Y. Min. - Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. - 197 p.
- [8] *Saaty, T.L.* The Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty. -McGraw Hill. [Reprinted by RWS Publications, available electronically free, 2000]. 1980.
- [9] *Саати, Т.* Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс.– М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
- [10] *Саати, Т.* Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т. Саати // Cloud of Science.- 2015. - Т. 2, № 1. - <http://cloudofscience.ru>.

- [11] *Malyshev, V.V.* A decision making method under conditions of diversity of means of reducing uncertainty / V.V. Malyshev, B.S. Piyavsky, S.A. Piyavsky // Journal of Computer and Systems Sciences International. -2010. - Vol. 49, No 1.- P. 44-58.
- [12] *Malyshev, V.V.* The confident judgment method in the selection of multiple criteria solutions / V.V. Malyshev, S.A. Piyavsky // Journal of Computer and Systems Sciences International. - 2015. –Vol. 54, No 5. - P. 754-764.
- [13] Методика и процедуры формирования Национального рейтинга университетов 2018 года - <http://univer-rating.ru/txt.asp?rbr=30&txt=Rbr30Text4021&lng=0>
- [14] *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.
- [15] *Пиявский, С.А.* Вычислительные аспекты формирования универсальных таблиц коэффициентов важности критериев / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №3(25). - С.284-295. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-284-295.
- [16] *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.
- [17] *Двайт, Г.Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы. / Г.Б. Двайт. - М.: Наука, 1973. – 228 с.

## FORMS FOR CALCULATION OF UNIVERSAL COEFFICIENTS WHEN ADOPTING MULTIPLE CRITICAL DECISIONS

S.A. Piyavsky

Moscow City Pedagogical University (Samara branch), Samara, Russia  
 spiyav@mail.ru

### Abstract

The problem of multi-criteria choice is a key element in making complex decisions. A number of methods have been proposed that suggest that decisions made with their use are the most rational. Their main element is the linear convolution of particular criteria, and the difference is in those or other heuristic or expert methods for specifying the numerical coefficients of the relative importance of the criteria. Previously, the author developed an approach that allows the use of pre-calculated universal tables of numerical coefficients of importance of particular criteria when forming a linear convolution. It significantly reduces both the laboriousness of the decision-making process and the inevitable subjectivity that arises during the heuristic selection or expert assignment of coefficients of importance. At the same time, the Monte-Carlo method was used for the calculation, which, in event of with a large number of criteria, created significant computational difficulties due to the lack of accuracy of the random number generator and the avalanche-like increase in the amount of computation. In this article, we managed to derive exact formulas for calculating universal importance coefficients. They are based on the so-called numerological approach, summarizing the patterns that emerged in the analysis of a number of tables of universal coefficients calculated by the statistical method. The formulas obtained allowed, in particular, the use of universal coefficients of importance of criteria in problems with any number of criteria, even without special software, which will contribute to the expansion of the scale of application of scientifically-based methods for making decisions.

**Key words:** decision making, multi-criteria choice, universal coefficients of criteria importance, numerological approach.

**Citation:** Piyavsky SA. Forms for calculation of universal coefficients when adopting multiple critical decisions [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 282-298. - DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298.

### Acknowledgments

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, scientific project No. 18-08-00858 A, 02/09/2018.

## References

- [1] *Larichev OI*. Theory and methods of decision making [In Russian]. Moscow: Logos, 2002. 392 p.
- [2] *Larichev OI*. Verbal Decision Analysis [In Russian], RAS ISI. Moscow: Nauka, 2006. 181 p.
- [3] *Chermorutskiy IG*. Methods of decision-making [In Russian]. St Petersburg.: BHV-Petersburg, 2005. 416 p.
- [4] *Lebedev AA*. Course of System Analysis [In Russian].- Moscow: Mashinostroenie. 2010. 256 p.
- [5] *Johannes, J*. Vector Optimization: Theory, Applications, and Extensions. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2010. 460 p.
- [6] *Ansari HQ, Jen-Chih Y*. Recent Developments in Vector Optimization. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag, 2010. 550 p.
- [7] *Hirotsuka N, Yeboon Y, Min Y*. Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 197 p.
- [8] *Saaty TL*. The Analytic Hierarchy Process. - McGraw Hill. [Reprinted by RWS Publications, available electronically free, 2000]. 1980.
- [9] *Saaty T*. The Analytical planning. System's Organization [In Russian]. – Moscow: Radio and Communications, 1991. 224 p.
- [10] *Saaty TL*. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. Notices of the American Mathematical Society 60(2) February 2013.
- [11] *Malyshev VV, Piyavsky BS, Piyavsky SA*. A decision making method under conditions of diversity of means of reducing uncertainty. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010; 49(1): 44-58.
- [12] *Malyshev VV, Piyavsky SA*. The confident judgment method in the selection of multiple criteria solutions. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2015; 54(5): 754-764.
- [13] Methods and procedures for the formation of the National University Ranking 2018 [In Russian]. – <http://univerrating.ru/txt.asp?rbr=30&txt=Rbr30Text4021&lng=0>.
- [14] *Piyavsky SA*. How do we digitize the concept of «more important» [In Russian]. Ontology of Designing. 2016; 6(4): 414- 435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [15] *Piyavsky SA*. Computational aspects of establishing universal tables of criterion's importance [In Russian]. Ontology of Designing. 2017; 7(3): 284-295. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-284-295.
- [16] *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.
- [17] *Dwight HB*. Tables of Integrals and other Mathematical Data [In Russian]. – Moscow: Nauka, 1973. – 228 p.

---

## Сведения об авторе



*Пиявский Семен Авраамович*. Окончил факультет летательных аппаратов Куйбышевского авиационного института (1964), аспирантуру Московского авиационного института (1967). Доктор технических наук, профессор Московского городского педагогического университета (Самарский филиал). Почетный работник высшей школы РФ, академик Академии наук о Земле и Академии нелинейных наук. Опубликовал более 400 научных работ в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, математического моделирования, образовательных систем и технологий. Основные научные результаты: онтологии образовательного процесса, методы многоэкстремальной оптимизации, принятия решений в условиях неопределённости, оптимизации многоцелевых систем летательных аппаратов; компьютерная технология технического творчества, теория оптимального управления развитием научных способностей молодежи и др.

*Semen Avraamovich Piyavsky*. Graduated from aircraft Kuibyshev Aviation Institute in 1964 and the graduate school at the Flight Dynamics Department at the Moscow Aviation Institute Ordzhonikidze in 1967. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Moscow City Pedagogical University (Samara branch). Honored Worker of Higher School of Russia, Academician of the Academy of Earth Sciences and Academy of Nonlinear Sciences. He has published over 400 scientific papers in field of system analysis, optimization techniques and decision-making, mathematical modeling, education systems and technologies. Basic scientific results: education ontologies, Multiple-optimization techniques, decision making under fatal uncertainty, computer technology of engineering creation, the optimal control theory of young people' academic abilities development, etc.

# Коммюнике онтологического саммита 2019: ОБЪЯСНЕНИЕ<sup>1</sup>

(Фрагмент проекта 'Ontology Summit 2019 Communiqué: Explanations')

Июнь 2019

## 1 Введение

В последние годы наблюдается значительное увеличение использования методов машинного обучения (ML) для решения проблем в области искусственного интеллекта (AI). Эти успехи обусловлены наличием огромного количества уже накопленных данных, на основе обработки которых методы ML строят сложные статистические модели. К сожалению, разработчикам этих моделей сложно объяснить, как на их основе приходят к тем или иным выводам, поскольку каждое решение, в принципе, является результатом работы программы, которая включает весь набор данных, используемых для разработки модели. Поэтому встал вопрос о том, что такое объяснение, а также какие критерии могут использоваться для оценки точности объяснения.

Саммит онтологов 2019 года стремился исследовать, идентифицировать и сформулировать, как онтология может принести пользу проблеме автоматизации объяснений сложных систем в целом. Саммит решил эту задачу, сначала изучив понятие объяснения в серии сессий осенью 2018 года. Наиболее важными областями были определены: (1) *здоровый смысл и знание* и (2) *повествование*. Затем они были более подробно изучены на последующих сессиях в 2019 году. Кроме того, было решено изучить некоторые конкретные области, чтобы определить виды проблем, с которыми сталкиваются практики в отношении объяснений. Выбранными предметными областями были: финансы и медицина. Наконец, так как объяснения AI были первоначальной мотивацией, изучена проблема Объяснимого AI.

Саммит онтологов 2019 года посвящён роли онтологий для объяснения аргументации работы программной системы. В частности, основное внимание было уделено критическим пробелам в объяснении и роли онтологий для устранения этих пробелов. На сессиях рассмотрены существующие технологии и реальные потребности, обусловленные рисками и требованиями соответствия правовым и другим стандартам.

## 2 Предпосылки

Объяснение - это ответ на вопрос «Почему?». Соответственно, объяснения обычно происходят в контексте процесса, который может быть диалогом между человеком и системой или процессом связи между агентами двух систем. Объяснения также происходят в социальных взаимодействиях, когда излагают точку зрения или интерпретируют поведение.

Первые известные попытки понять причину объяснений были у греческих и индийских философов. Например, чтобы понять и объяснить почему произошла Пелопоннесская война, Фукидид определил объяснение как процесс, в котором факты (неоспоримые данные) наблюдаются, оцениваются на основе общих знаний о человеческой природе. В трудах Платона объяснение базируется на знаниях универсальных форм, которые являются абстракциями сущностей мира. Факты с этой точки зрения являются происшествиями или ситуациями и могут быть лишь описательной частью объяснения, а не причиной. Взгляд Аристотеля даёт уже знакомое представление об объяснении как части логического, дедуктивного процесса для достижения выводов. После Декарта, Лейбница и Ньютона современная детерминистская причинность стала центральной для объяснений. Знать, что является причиной события, значит использовать естественные законы в качестве основного средства, чтобы понять и объяснить, почему это произошло.

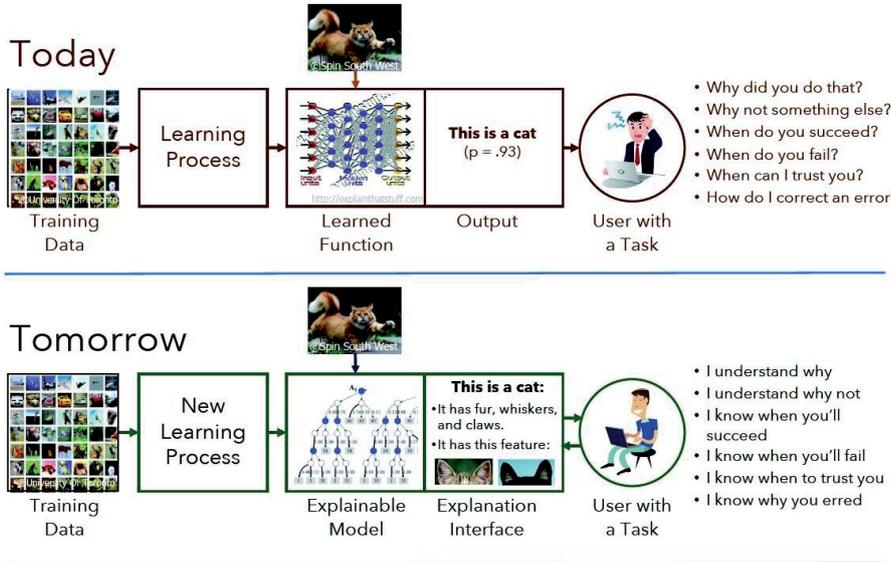
Тема онтологического саммита, вдохновлённая проектом DARPA Explainable AI (XAI) [5, 6], рассматривалась как общая проблема объяснения. На саммите рассматривались не только системы AI, которые могут объяснить их действия, но также и интеллектуальные инженерные системы, которые могут взаимодействовать друг с другом. С ростом количества программного обеспечения, предназначенного для промышленной автоматизации и управления процессами, эта возможность становится важной. Объяснения включают в себя объяснение причин, описание сильных и слабых сторон и проецирование поведения систем в будущем.

Онтологии могут играть важную роль в объяснениях, поскольку интеллектуальные инженерные системы должны представлять концептуальную основу, которая поддерживает объяснения. Версия естественного языка может использоваться для описания состояний и действий в терминах, которые люди легко понимают, а также в концептуальных структурах, в которых происходит диалог.

<sup>1</sup> Редакция журнала решила не дожидаться финальной версии очередного Коммюнике Онтологического саммита за 2019 год, который обсуждается с осени 2018 года, но ещё не принят, а уже сейчас познакомить своих читателей с его концепцией - <https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2019/Symposium/communique2019.pdf>.



# Explainable AI Program



Преимущество использования онтологий в объяснениях заключается в возможности улучшения взаимодействия между системами. Опасность текущих усилий по объяснению состоит в том, что они разрознены. Это приведёт к разнообразию несовместимых методов объяснения, которые индивидуально могут удовлетворить требованию предоставления объяснений, но при интеграции в крупномасштабные системы – будут мало полезными.

Онтологии - это спроектированные артефакты знаний, существующие в вычислительной среде, которая позволяет рассуждать, и поэтому должна включать способность объяс-

нять то, что они «знают» и как «обосновать эти знания». Они должны быть в состоянии выразить обоснование выбранного использования соответствующих частей онтологии или набора онтологий; объяснить сильные и слабые стороны выбранной онтологии; и объяснить данные в этой онтологии.

### 3 Объяснимый AI [6]

### Explanation Ontology Design Pattern

### 4 Здравый смысл и знание [8]

### 5 Роль повествования [1, 4, 7, 9-12]

### 6 Финансовые объяснения [3]

### 7 Медицинские объяснения [13,14]

### 8 Результаты [12]

### 9 Вызовы и возможности [2]

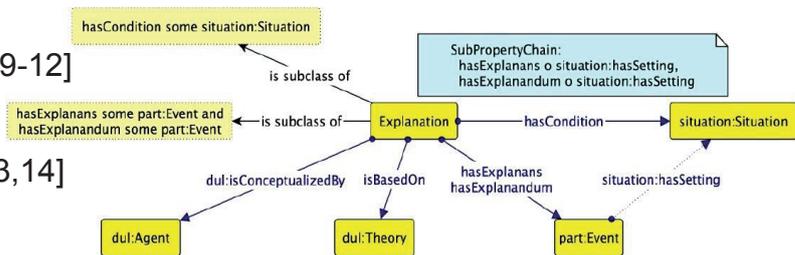


Figure 2: The Explanation Ontology Design Pattern.

Tiddi, et al. (2015)

### Список источников

- [1] K. Baclawski. Proof as explanation and narrative, January 2019. Retrieved December 9, 2017 from <http://bit.ly/2RqQJQ5>.
- [2] K. Baclawski, M. Bennett, G. Berg-Cross, C. Casanave, D. Fritzsche, J. Ring, T. Schneider, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, A. Westerinen, and D. Whitten. Ontology Summit 2018 Communiqu'e: Contexts in Context. *Journal of Applied Ontology*, July 2018. DOI: 10.3233/AO-180200.
- [3] K. Ford, A. Canas, and J. Coffey. Participatory explanation. In *FLAIRS 93: Sixth Florida Artificial Intelligence Research Symposium*, pages 111–115, Ft. Lauderdale, FL, April 18-21 1993. Retrieved on June 5, 2019 from <http://bit.ly/318aUbX>.
- [4] H.P. Grice. *Logic and conversation*. In P. Cole and J.L. Morgan, editors, *Speech Acts*, pages 41–58. Academic Press, New York, 1975.
- [5] D. Gunning. DARPA Explainable Artificial Intelligence: Program Update, 2017. Retrieved on June 4, 2019 from <http://bit.ly/2ITKwfd>.
- [6] D. Gunning. DARPA Explainable Artificial Intelligence, 2018. Retrieved on December 3, 2018 from <http://bit.ly/2s9d4pH>.
- [7] F.C. Keil. Explanation and understanding. *Annu. Rev. Psychol.*, 57:227–254, 2006.
- [8] J. McCarthy. Programs with common sense. In M. Minsky, editor, *Semantic Information Processing*, pages 403–418. MIT Press, 1968. Originally published in 1959.
- [9] T. Miller. Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, 2018.
- [10] T. Miller, P. Howe, and L. Sonenberg. Explainable ai: Beware of inmates running the asylum or: How i learnt to stop worrying and love the social and behavioural sciences. *arXiv preprint*, 2017. [arXiv:1712.00547](https://arxiv.org/abs/1712.00547).
- [11] S. Rodriguez, J. Schaffer, J. O'Donovan, and T. H'ollerer. Knowledge complacency and decision support systems. In *IEEE International Inter-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*, 2019.
- [12] I. Tiddi, M. d'Aquin, and E. Motta. An ontology design pattern to define explanations. In *Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge Capture*. ACM, October 2015. Article no. 3.
- [13] E. Topol. In *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Hatchett Book Group, New York, 2019.
- [14] E. Topol. High-performance medicine: roles in a high-level knowledge representation language. In *Artificial intelligence review*. doi: 10.1007/s10462-017-9571-5.

От редакции ИЗМЕРЯТЬ НЕИЗМЕРИМОЕ	173-174
Р.О. Самсонов, А.Ю. Нестеров (Самара, Россия) ИННОВАЦИОННОЕ ПОНЯТИЕ «КОСМОС» В ТРАНСФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСИТЕТА	175-190
С.В. Микони (Санкт-Петербург, Россия) ОБОБЩЁННАЯ ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В КОНЦЕПЦИИ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	191-202
А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына (Москва-Набережные Челны, Россия) ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ КОРРЕКТИРОВКЕ ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ	203-213
С.С. Сосинская, Р.С. Дорофеев, А.С. Дорофеев (Иркутск, Россия) РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЙТИНГА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ОНТОЛОГИИ	214-224
А.Г. Массель, Д.А. Гаськова (Иркутск, Россия) ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА УГРОЗ И ОЦЕНКИ РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	225-238
Д.В. Трошин (Москва, Россия) МЕТОДИКА АНАЛИЗА РИСКОВ И УГРОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ	239-252
А. Голами, О. Кошелева, В. Крейнвич (Эль Пасо, США) КАК ОБЪЯСНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕУГОЛЬНЫХ И ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В ПРИЛОЖЕНИЯХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ	253-260
А.А. Жиляев (Самара, Россия) ОНТОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ	261-281
С.А. Пиявский (Самара, Россия) ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ПРИНЯТИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ	282-298
Коммюнике онтологического саммита 2019: ОБЪЯСНЕНИЕ	299-300

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

