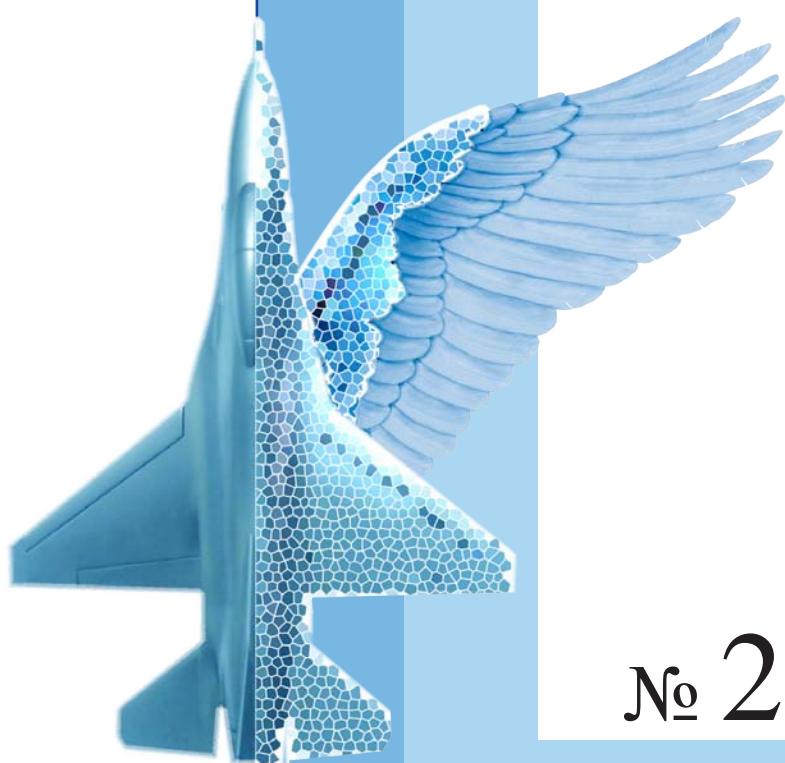


# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

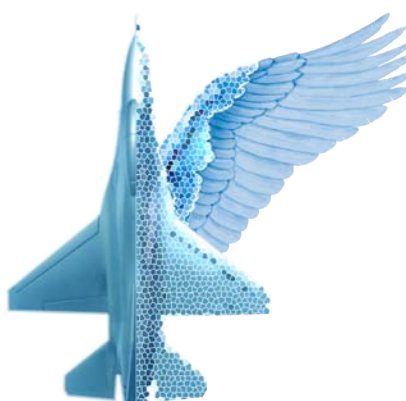


№ 2(12)/2014

**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

№ 2(12)



## EDITORIAL BOARD – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Anatoly I. Belousov	Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Nikolay M. Borgest	Боргест Николай Михайлович, к.т.н., профессор СГАУ, член ИАОА, г. Самара
Vladimir V. Golenkov	Голенков Владимир Васильевич, д.т.н., профессор, БГУИР, г. Минск
Vladimir I. Gorodetsky	Городецкий Владимир Иванович, д.т.н., профессор, СПИИРАН, г. Санкт-Петербург
Yuri R. Valkman	Валькман Юрий Роландович, д.т.н., профессор, МНУЦ ИТиС НАН и МОН Украины, г. Киев
Stanislav N. Vasiliev	Васильев Станислав Николаевич, академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва
Vladimir A. Wittich	Виттих Владимир Андреевич, д.т.н., профессор, ИПУСС РАН, г. Самара
Nicholay G. Zagoruiko	Загоруйко Николай Григорьевич, д.т.н., профессор, ИМ СО РАН, г. Новосибирск
Alexander S. Kleshchev	Клещёв Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор, ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток
Valery A. Komarov	Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Sergey M. Krylov	Крылов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара
Victor M. Kureichik	Курейчик Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, Технологический институт ЮФУ, г. Таганрог
Lyudmila V. Massel	Массель Людмила Васильевна, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск
Semyon A. Piyavsky	Пиявский Семен Авраамович, д.т.н., профессор, СГАСУ, г. Самара
George A. Rzevski	Ржевский Георгий Александрович, профессор, Открытый университет, г. Лондон
Peter O. Skobelev	Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК «Разумные решения», г. Самара
Sergey V. Smirnov	Смирнов Сергей Викторович, д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
Anatoly V. Sollogub	Соллогуб Анатолий Владимирович, д.т.н., профессор, ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович, д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шевкетович, академик, вице-президент АН РТ, г. Казань
Robert I. Tuller	Таллер Роберт Израилевич, д.филос.н., профессор, СГАУ, г. Самара
Boris E. Fedunov	Федунов Борис Евгеньевич, д.т.н., профессор, ГосНИИ Авиационных систем, г. Москва
Altynbek Sharipbayev	Шарипбаев Алтынбек, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, г. Астана
Boris Y. Shvedin	Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член ИАОА, г. Ростов-на-Дону

## Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

Chief Editor	<b>Smirnov S.V.</b>	Главный редактор	Смирнов С.В.	директор ИПУСС РАН
Executive Editor	<b>Borgest N.M.</b>	Выпускающий редактор	Боргест Н.М.	директор издат-ва «Новая техника»
Editor	<b>Kozlov D.M.</b>	Редактор	Козлов Д.М.	профессор СГАУ
Technical Editor	<b>Shustova D.V.</b>	Технический редактор	Шустова Д.В.	аспирант СГАУ
Translation Editor	<b>Korovin M.D.</b>	Редактор перевода	Коровин М.Д.	аспирант СГАУ

## CONTACTS – КОНТАКТЫ

### ИПУСС РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61.  
тел.: +7 (846) 332 39 27, факс.: +7 (846) 333 27 70

Смирнов С.В.  
smirnov@iccs.ru

### СГАУ

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

Боргест Н.М.  
borgest@yandex.ru

### Издательство «Новая техника»

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 64-03/2012.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «РАЗУМНЫЕ РЕШЕНИЯ»  
<http://www.smartsolutions-123.ru/>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-46447 от 7.09.2011 г.



Отпечатано в издательстве «Новая техника»  
Подписано в печать 10.07.2014. Тираж 300 экз.

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей  
© Издательство «Новая техника», 2011-2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>От редакции</b>	
<b>НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ САМОАНАЛИЗ</b>	<b>5</b>
<b>А.Ю. Агафонов</b>	<b>8</b>
<b>НАУКА О СОЗНАНИИ: НЕРЕШЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ</b>	
<b>Ю.Р. Валькман, Е.А. Хала</b>	<b>19</b>
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ПРАВОВОЙ     ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТА     С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ</b>	
<b>Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская</b>	<b>40</b>
<b>ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ФОРМАЛЬНОЙ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ     СИСТЕМЫ ПОРТАЛОВ ЗНАНИЙ</b>	
<b>Ю.В. Рогушина</b>	<b>60</b>
<b>РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ     ПОТРЕБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ СЕМАНТИЧЕСКОМ ПОИСКЕ</b>	
<b>Д.В. Ландэ, А.А. Снарский</b>	<b>83</b>
<b>ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ</b>	
<b>П.О. Скобелев, А.Б. Иванов, Е.В. Симонова, В.С. Травин, А.А. Жиляев</b>	<b>92</b>
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ СЕАНСОВ СВЯЗИ МЕЖДУ МИКРОСПУТНИКАМИ     И СЕТЬЮ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ     МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b>	
<b>НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ и СЕМИНАРЫ 2014 г.</b>	
Коммюнике онтологического саммита 2014	<b>101</b>
Научный семинар «Онтология проектирования»	<b>111</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМОЕ ИЗДАНИЕ</b>	<b>112</b>

## CONTENT

<b>From the Editors</b>	
SCIENTOMETRIC INTROSPECTION	5
<b>A.Y. Agafonov</b>	8
SCIENCE OF CONSCIOUSNESS: UNSOLVED PROBLEMS	
<b>I.R. Valkman, C.A. Hala</b>	19
ONTOLOGY DESIGN BASED ON THE TEXT CONTENT WITH FUZZY LOGIC FOR LEGAL DOMAIN	
<b>L.S. Globa, R.L. Novogradskaya</b>	40
APPROACH TO FORMAL ALGEBRAIC SYSTEM OF KNOWLEDGE PORTAL DESIGNING	
<b>J.V. Rogushina</b>	60
DESIGN OF THE ONTOLOGICAL MODEL OF USER'S INFORMATIONAL NEED IN SEMANTIC SEARCH	
<b>D.V. Lande, A.A. Snarskii</b>	83
APPROACH TO THE CREATION OF TERMINOLOGICAL ONTOLOGIES	
<b>P.O. Skobelev, A.B. Ivanov, E.V. Simonova, V.S. Travin, A.A. Jilyaev</b>	92
MULTI-AGENT SCHEDULING OF COMMUNICATION SESSIONS BETWEEN MICROSATELLITES AND GROUND STATIONS NETWORK	
<b>CONFERENCES AND SEMINARS 2014</b>	
OntologySummit2014 Communiqué	101
Workshop «Ontology of Designing»	111
<b>RECOMMENDED BOOK</b>	112



**Dear Reader,  
dear authors, members of the editorial board and international experts!**

Today we are receding from our tradition of honoring and commemorating ancient wise men and pillars of science. Having applied our journal into the leading scientometric international databases we will give our brief view on the problem of evaluation and some results of our own analysis of the project based on the current approach.

Three years ago the international conference CSCMP-2011 was in Samara, and there for the first time we the idea of creating a new journal appeared. During the summer we developed the project. The pilot issue number 0 came out in September 2011 and today you are holding the issue number 12. The journal passed widespread approbation on tens of *specialized* scientific conferences:

- «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems» (Minsk, Byelorussia, OSTIS-2012, 2013, 2014);
- «Intelligent Analysis of Information» (Kiev, Ukraine, IAI - 2012, 2013, 2014);
- «Artificial Intelligence» (Katsively, Ukraine, AI - 2011, 2012, 2013);
- «Complex Systems: Control and Modeling of the Problems» (Samara, Russia, CSCMP – 2011, 2012, 2013, 2014);
- «Information technology and systems» (Bannoe, Republic of Bashkortostan, Russia, ITS – 2013, 2014);
- «Multiconference on Control Problems» (Divnomorskoe, Russia, MCP-2011);
- «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support and Intended International Workshop on Robots and Robotic Systems» (Ufa, Russia, ITIDS&RRS – 2014);
- «Interactive Systems: Problems of human-computer interaction» (Ulyanovsk, Russia, 2011);
- «System analysis and semiotic modeling» (Kazan, Russia, 2011);
- «National Conference on Artificial Intelligence with International Participation» (Belgorod, Russia, CAI - 2012);
- «Information and mathematical technology in science and management» (Baikal, Irkutsk, Russia, IMT - 2012, 2013, 2014) and other.

As well as on *publishing* and *scientometric* conferences:

- 3rd International Scientific Practical Conference «SCIENCE EDITION OF THE INTERNATIONAL LEVEL - 2014: Improving quality and presence at the world of information resources» (Moscow, Russia, 2014)<sup>2</sup>;
- 18th International Conference «SCIENCE ONLINE: electronic information resources for science and education» (Belek, Turkey, 2014)<sup>3</sup>.

We consider application of statistical methods for evaluation of the content of published scientific materials impractical for the purpose of author's evaluation, as well as the evaluation of the quality of his work. We are not ready to say that the lack of citations in several years from the moment of publishing is enough to conclude the «low» scientific level and lack of promise for the work. We also believe that publishing activity of the author does not necessarily comply with its quality; it definitely describes the author's activism in promoting his work rather than its quality.

We strongly believe that implication of any kind of indexing should be proportionate: it is not correct to apply the same criteria towards a young scientist and a venerable professor, a journal orientated towards a new branch of science and a journal that has a long publishing history. We also believe that currently implemented criteria are of importance for the self-esteem of scientists, journals, universities and progress of science as a whole.

***Evaluation of journals should be complex.*** Here are some characteristics of such kind of evaluations, presented in the report of Gennady Eremenko, the head of Scientific electronic library (see

<sup>1</sup> Assisting international experts and our readers.

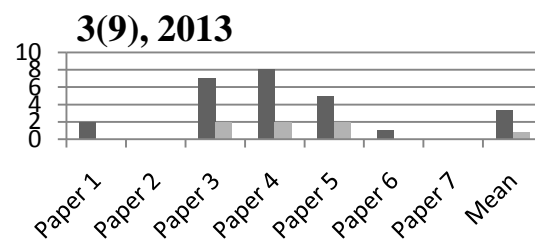
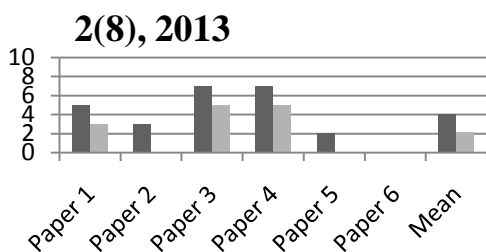
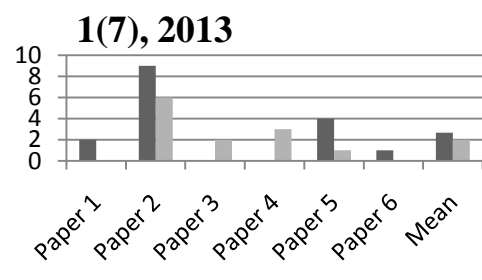
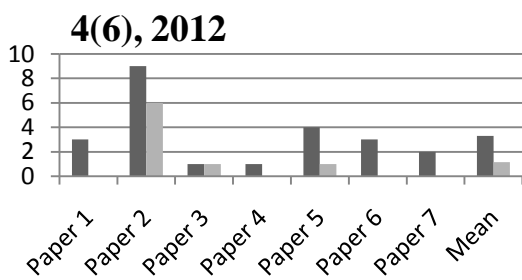
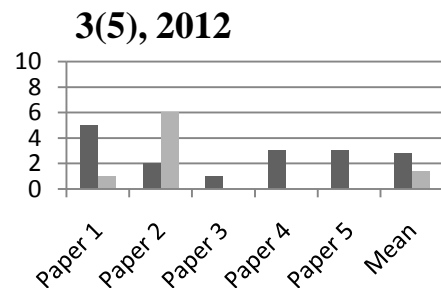
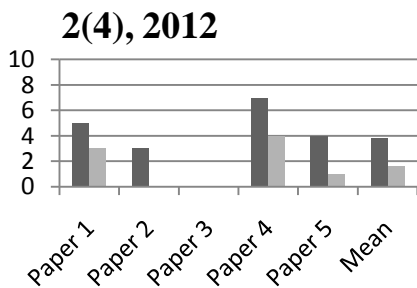
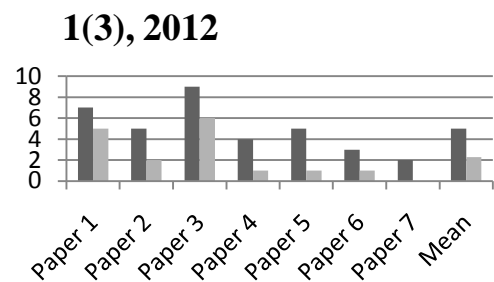
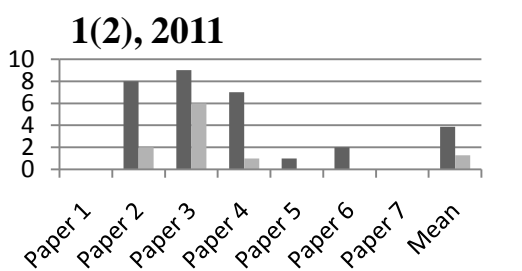
<sup>2</sup> <http://conf.neicon.ru/index.php/science/domestic2014/schedConf/program>

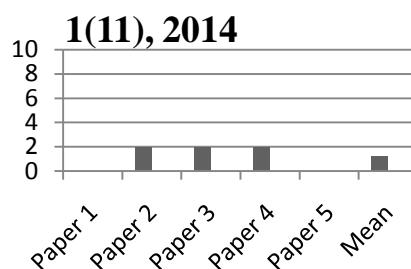
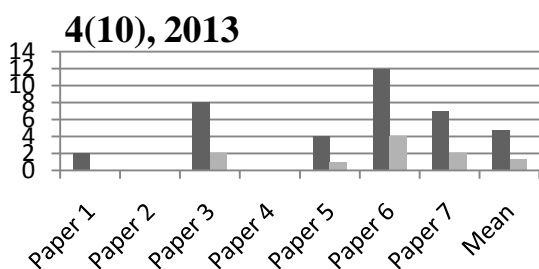
<sup>3</sup> [http://elibrary.ru/projects/conference/turkey2014/conf\\_2014\\_1\\_program.asp](http://elibrary.ru/projects/conference/turkey2014/conf_2014_1_program.asp)

reference 3 on page 5): thematic of the journal, composition of the editorial board, publication frequency, the level of self-quotation, average paper volume, the length of the references section, diversity of publications, credibility of references, doubling references from translated journals, journal distribution of citing articles, distribution of articles authors and organizations, average age of cited works and many others.

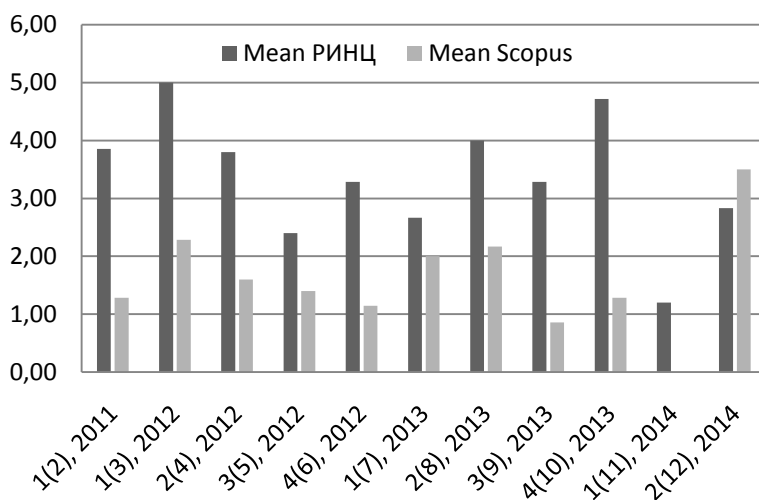
For us, as well as for the international experts that are now reviewing our journal for the purpose of its inclusion into Scopus and Web of Science, we had evaluated our journal using the Hirsh criterion, that is commonly applied for evaluation of publishing activity of authors in Russian index of science citation and Scopus. We decided to use the average h-index of all the authors in the journal to determine the h-index for each issue of the journal.

The diagrams compare the average number of h-indexes from Russian index of scientific citation (РИНЦ - ■ ) and Scopus (■ ) for each paper in the journal and for all of the published issues of the journal.



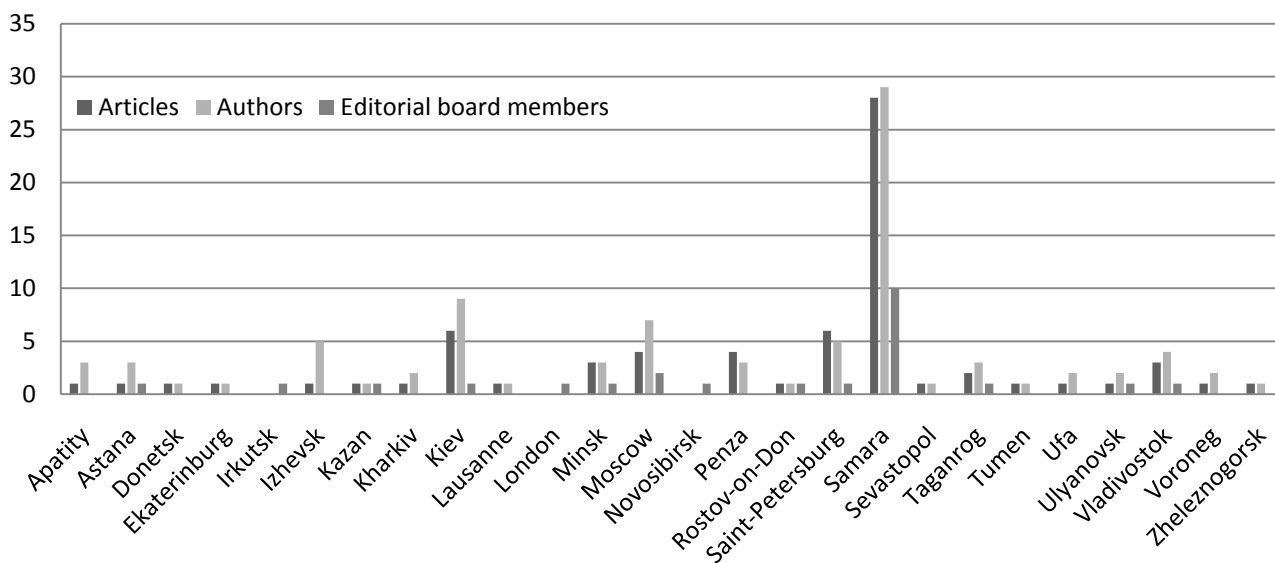


### h-index



The integral diagram, shown on the left, demonstrates that the average level of publication activity of our journals' authors is about 4 for Russian index of scientific citation and about 2 for Scopus. The histogram at the bottom of the page shows the geographical distribution of the journals' authors and members of the editorial board. However, we can make statements about the quality of the published works only after time passes...

We, the executive board, our authors and the editorial board strive to make the material, published in our journal, to be the basis for *constructive knowledge in the field of ontology of designing* in the sector of Computer Science and Engineering.





УДК 159.9.01

## НАУКА О СОЗНАНИИ: НЕРЕШЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ<sup>1</sup>

**А.Ю. Агафонов**

*Самарский государственный университет, Самара, Россия*

*ayagafonov@yandex.ru*

### **Аннотация**

В статье обсуждаются наиболее важные проблемы, связанные с изучением феноменологии сознания: проблема объяснительного разрыва и когнитивного назначения осознанности. При анализе осознания выделены феноменальный и качественный аспекты. Анализ феноменального аспекта предполагает объяснение эмпирических проявлений (эффектов работы сознания), благодаря чему становится возможной теоретическая реконструкция логики сознательной деятельности. Вместе с тем, квалиа («кто, каково это переживать») обеспечивает субъективную очевидность испытываемых субъектом переживаний и является важнейшим условием осознанности. На основе накопленных экспериментальных данных предложен возможный вариант решения проблемы когнитивного назначения осознания. Показано, что специфическая роль сознания в осуществлении познавательной деятельности заключается в обнаружении ошибок, что и является условием их последующей элиминации.

**Ключевые слова:** *сознание, феноменальное и качественное знание, когнитивное бессознательное, субъективные переживания, квалиа, осознанность, когнитивные ошибки.*

### **Введение**

Любая человеческая деятельность, в том числе научная деятельность, является деятельностью субъективной. Любые виды познавательной активности, в том числе связанные с экспериментированием, моделированием и проектированием, осуществляются субъектом этой познавательной активности. В психологической науке понятие «субъект» означает действующего и познающего человека, носителя сознания. Иначе говоря, этим понятием фиксируется активное, созидательное начало. Хотя в науке и существуют различные способы контроля влияния субъективных факторов на результаты научной деятельности, однако полностью устранить это влияние не представляется возможным. На всех этапах процесса научного поиска можно обнаружить присутствие не подлежащего формализации и алгоритмизации субъекта деятельности. Не учитывать в анализе деятельности её субъекта, значит не понимать её главный внутренний источник, её живое наполнение, поскольку анализ только целей, задач и средств деятельности не позволяет раскрыть её сущностную структуру, понять её детерминанты, ведь любая деятельность мотивирована. В свою очередь, мотив как осознанная потребность субъекта деятельности относится к сфере осознаваемого опыта. Прав Н.М. Боргест, который указывает, что мотив изменяет тип поведения субъекта: поведение получает свою направленность, канализированность [1].

Проектирование является частным, хотя и специфическим видом деятельности. *Онтология проектирования* как междисциплинарная область научной рефлексии базируется

<sup>1</sup> Статья подготовлена по результатам проведенного в феврале 2014 года в СГАУ научного семинара «Онтология проектирования» (см. фотоотчет в предыдущем номере журнала №1(11), 2014). Семинар и сама публикация – трудный, но важный этап «перетекания» и «слияния» гуманитарных и инженерных знаний. Онтология в её новом качестве призвана объединить расходящиеся в глубины неизвестного научные ветви сформировавшихся дисциплин и дать новый импульс в процессах познания мироздания и моделирования на этой основе будущего. *Прим. ред.*

на представлении о том, что «человек как деятельностный субъект, ... не просто включен в процесс, но сам является его частью. Так же как и во многом непознанное его сознание» [1, с.15]. Исходя из этого, понимание того, как устроено человеческое сознание и какую роль в познавательной активности оно играет, даст возможность лучше понимать и природу проектной деятельности, включая такие важные её компоненты, как возникновение, формирование и развитие потребностей<sup>2</sup>, целей, смыслов и самих *субъективных онтологий*<sup>3</sup>.

## 1 Феноменальный и квалитативный аспекты осознания

Проблема сознания была и по-прежнему остается, пожалуй, самой грандиозной, самой захватывающей проблемой не только философии, но и всей теоретической психологии. Само возникновение психологической науки во второй половине XIX века, во многом, связано с попытками решения именно этой проблемы. И хотя эти попытки едва ли можно считать удачными, тем не менее, именно основатели психологии и, в первую очередь, В. Вундт, показали как возможности, так и всю сложность эмпирического изучения сознания. В чем же заключается эта сложность? В первую очередь, в отсутствии каких-либо методов объективной фиксации субъективных переживаний. Понятием «непосредственный опыт» В. Вундт обозначал те субъективно переживаемые состояния, которые носитель сознания обнаруживает с позиции «от первого лица» (согласно В. Вундту, «многообразие непосредственно данных качественных содержаний нашего опыта» и составляет предмет научной психологии [2, с.117].) Эти состояния, переживаемые носителем сознания в момент текущего настоящего с субъективной очевидностью, не просто недоступны анализу с позиции «третьего лица», но и не могут быть удовлетворительным образом вербализованы самим человеком, который их испытывает, поскольку вербальный отчет о любом осознанном переживании информирует только о некотором концептуальном или, иначе, феноменальном знании субъекта, «знании о...», но не о самом качественном переживании, которое представляет собой «знание как...». Так, например, испытывая зубную боль, человек знает, что у него болит зуб, т.е. имеет об этом феноменальное знание и знает о том, каково это в данный момент переживать зубную боль, что и является непосредственным, квалитативным знанием. Уже В. Вундту до К.И. Льюиса и других философов, кто стал использовать термин «квалиа», было ясно, что всякий акт сознания предполагает различие двух планов анализа: того, что осознается и, соответственно, качеств объекта репрезентации, с одной стороны, и то, как это осознается, т.е. качеств самого субъективного переживания, с другой. Поскольку содержание сознания открыто только его носителю, анализ качественных состояний сознания, по мнению В. Вундта, можно единственно производить посредством интроспекции. Однако надежды на интроспекцию первых исследователей сознания не могли оправдаться: интроспективный анализ всякий раз сообщает лишь о том, что осознавалось, но не о том, каково это было осознавать. Крах интроспективной парадигмы был связан с тем, что много позже Д. Деннет назовет «невыразимостью квалиа». Действительно, о квалитативном знании субъекта мы не можем судить, анализируя те или иные эмпирические индикаторы, в том числе словесный отчет испытуемого; этот тип знания не имеет таких индикаторов. О квалиа («то, каково это переживать») нельзя судить по проявлениям. Единственным способом самообнаружения квалиа является субъективность, которая не имеет никаких эмпирических маркеров, доступных восприятию и оценке в перспективе «третьего лица». Именно в этом смысле классики психологии говорили о непосредственной

<sup>2</sup> Об информационных потребностях см. статью Рогужиной Ю.В. «Разработка онтологической модели информационной потребности пользователя при семантическом поиске» в этом номере журнала. *Прим. ред.*

<sup>3</sup> Редакция рекомендует также обратиться к вновь переизданной в этом году монографии немецкого философа Гартмана Э. *Сущность мирового процесса, или Философия бессознательного: Метафизика бессознательного*. Пер. с нем. М.: УРСС. 2014. - 440 с.

данности содержания сознания. В свою очередь, анализ феноменального аспекта осознанности опирается на объяснение эмпирических проявлений (эффектов работы сознания). К таким проявлениям относят: вербальные, психомоторные и психофизиологические реакции, а также продукты деятельности и поступки человека. По сути, все эти индикаторы используются в эмпирических исследованиях либо для теоретической реконструкции логики работы сознания, либо для реконструкции феноменального знания субъекта, содержания его репрезентаций. Вместе с тем, только благодаря незримому присутствию квалиа, человек способен осознавать реальность и себя в этой реальности.

После неутешительного опыта изучения сознания в XIX веке в психологии возобладали квалиафобские настроения: лидеры всех научных школ, появившихся в XX столетии, включая и когнитивную психологию, решили сделать вид, что сознания в его качественном, качественном аспекте просто не существует. Очевидный факт того, что осознаваемое переживание всегда включает в себя субъективный компонент и всегда является приватным переживанием, попросту игнорировался. Но элиминация квалиа естественным образом упраздняет и саму проблему сознания, поскольку она, преимущественно, и заключается в объяснении природы субъективности. Даже если в будущем психология совершит качественный прорыв в решении целого комплекса исследовательских задач, но при этом не объяснит природу субъективного опыта, мы не сможем говорить о сколь либо заметном теоретическом прогрессе. Допустим, мы сможем объяснить то, каким образом человек выполняет самые сложные моторные и ментальные действия, осуществляет сознательные акты и неосознаваемые психические операции. Допустим, мы сможем описать логику работы механизмов сознания при выполнении когнитивной деятельности, объясним всевозможные виды научения и принципы взаимодействия сознания и бессознательного. Допустим, мы решим все проблемы, которые 20 лет назад один из крупнейших специалистов в области философии сознания Д. Чалмерс назвал «лёгкими проблемами сознания» (и которые, надо заметить, по сей день не решены). Даже в этом случае мы ни на йоту не приблизимся к решению проблемы сознания, если её понимать как проблему субъективности. В некотором смысле, субъективность выражает собой преимущественный атрибут феномена сознания.

Безусловно, важно изучать то, как человек перерабатывает и хранит информацию, принимает решения, управляет вниманием или осуществляет контроль поведения. Только можно ли при этом утверждать, что при этом изучается сознание? Ведь человек не только взаимодействует с физической и социальной средой, осуществляя самые разные виды активности, но и знает об этом непосредственно. Игнорирование этого качественного, качественного аспекта осознанности лишает сознание его собственника, делая субъективный опыт безличным опытом ментально пустого зомби, не имеющим никакого Я.

## **2 Проблемы сознания**

Справедливости ради надо сказать, что хотя в современной науке о сознании, интегрирующей опыт исследований в философии, когнитивной психологии и психофизиологии, нет единого мнения относительно природы субъективности, однако многие авторы рассматривают опыт субъективных переживаний в тесной связи с проблемой сознания, как бы по-разному последняя не понималась. Такие известные исследователи сознания как Д. Чалмерс, Т. Нагель и Дж. Серл, придерживаясь различных подходов, между тем склонны считать, что проблема сознания есть ничто иное как проблема субъективной феноменологии осознанности, или квалиа.

Вместе с тем, относительно феномена субъективности можно задаваться разными вопросами. И в зависимости от исследовательского интереса проблема субъективно осознаваемого опыта может ставиться по-разному.

Конечно, говоря о субъективной реальности, прежде всего имеют в виду проблему объяснительного разрыва, или то, что в психологии традиционно именуется психофизиологической проблемой. Квалиафил Д. Чалмерс именно эту проблему называет «трудной». Ее решение предполагает объяснение того, как функционирование физической системы может порождать на выходе осознаваемые переживания, т.е. как активность мозга способна вызывать субъективный опыт [3].

Можно, конечно, признать эту проблему исключительно философской, следовательно, допускающей только концептуальные, эмпирически не проверяемые решения. Такую, «пессимистическую» позицию защищают многие исследователи, опирающиеся на естественнонаучную методологию. Как ни странно, чем больше прогресс в нейронауках, тем меньше надежд на решение данной проблемы. Действительно, пока даже трудно представить себе, как может быть устранён объяснительный разрыв при изучении работы мозга. «Пессимисты» полагают, что никакие достижения в исследовании мозга, достижения, которые очевидно нас ждут в будущем, принципиально не могут помочь в поисках ответа на вопрос: «Почему объективный, физический процесс, протекающий в мозге, имеет в качестве своего результирующего продукта субъективное переживание, некое, откуда-то взявшееся, квалиа, относящееся к совсем другой, *не физической онтологии?*»

В свою очередь, «оптимисты» руководствуются иной логикой рассуждений: Природа эту проблему решила в опыте, ведь субъективность – реальный факт, имеющий место в физическом мире. Сознание, субъективный опыт возникают только на физическом носителе, которым является человеческое тело, включая мозговую организацию. Иначе говоря, *сознание* – это естественный, природный феномен, возникающий в физической реальности и имеющий свой материальный субстрат. При всей невероятной сложности поиска естественно-научного объяснения сознания и феноменологии субъективности, такое объяснение в принципе должно существовать. Ведь сознание для каждого человека, который не спит и не находится в коме, является очевидным, не требующим доказательства фактом! Сделать очевидное теоретически возможным является лишь делом времени.

Другими словами, *субъективность* – это феномен, который подлежит естественно-научному объяснению, и такое объяснение мы вправе ожидать в будущей перспективе. (В пользу оптимистического взгляда на разрешимость этой проблемы также говорит то обстоятельство, что в настоящее время мы не можем сделать надежный прогноз относительно тех достижений, которыми будет отмечена наука в будущем, т.е. мы не в состоянии сегодня представить себе те решения, которые вполне вероятно будут найдены в ходе дальнейшего научного прогресса).

Однако проблема субъективности - это не только проблема «сознание – мозг». Не менее важно видеть и другие проблемы, связанные с феноменологией осознанности. Здесь можно обозначить две таких проблемы.

*Первая* все больше завоёвывает умы специалистов по когнитивной психологии сознания. Эту проблему можно сформулировать в следующей редакции: «В чём состоит функциональное назначение феномена осознания при осуществлении когнитивной деятельности?» Почему же исследователи все чаще и чаще задаются этим вопросом? В когнитивной психологии за последние полвека проведено несчётное количество экспериментов, результаты которых указывают на огромные ресурсы неосознаваемой обработки информации [4-6]. Способность человека к эффективной неосознаваемой обработке информации, в том числе на глубинном семантическом уровне, уже давно не

ставится под сомнение и является установленным фактом. В экспериментах обнаружено, что человек неосознанно способен понимать значение семантических стимулов, формировать условное значение неосознаваемой стимуляции, изменять степень доверия к неосознаваемым сообщениям, различать стимулы в диапазоне осознанного неразличения и т.д. [7, 8]. Показано, что человек принимает решение о чём-либо до того, как осознает это решение [см, например, 9]. Можно привести множество аналогичных примеров из разных, даже тематически несвязанных областей научно-психологических исследований. В этой связи возникают правомерные вопросы: «Что может делать исключительно аппарат сознания, и не умеет делать бессознательное? Для чего необходимо осознание, если большинство психических операций могут осуществляться быстро и эффективно в темных подвалах бессознательной психики? Почему психические процессы иногда аккомпанируются чувством субъективной очевидности происходящего?» Эти вопросы не могли быть заданы в первой половине 20 века. Они просто не были бы поняты. Правда, уже Дж. Брунер в конце 40-х годов обнаружил экспериментальный эффект перцептивной защиты, который, по сути, показывает, что для того, чтобы произошла задержка осознания слов, несущих угрозу, табуированных в культуре или лексики с негативной коннотацией, необходимо до момента осознания понять значение этих слов и принять специальное неосознанное решение об отсрочке осознания.

К настоящему времени обнаруженные экспериментальные данные не просто делают оправданной постановку проблемы когнитивного назначения осознанности, но и побуждают проводить ревизию существующих подходов. Прав А. Ревонсуо, который отмечает, что «у нас вполне достаточно данных, подтверждающих, что если даже какая-то информация не может достичь сознания, в мозге происходит её неосознаваемая обработка». «...Что это говорит нам о сознании?» - задаётся вопросом Ревонсуо [10, с.157]. Следует подчеркнуть, что проблема когнитивного назначения осознанности должна иметь перспективы не только концептуальных, но и эмпирически проверяемых решений.

*Вторая проблема*, касающаяся осознанности, требует объяснения объективной (физической) необходимости субъективных переживаний. Зачем в физической реальности существует субъективное начало?

Попробуем очертить зону поиска возможных решений этих проблем.

### 3 Поиски решений

Человеческая психика (человеческий разум) в функциональном плане может пониматься как система когнитивных механизмов, согласованная работа которых порождает «на выходе» субъективные переживания, а в онтологическом плане как репрезентативная система или когнитивная модель реальности. Хотя все осознаваемые результаты психической деятельности принадлежат самому носителю сознания, они, вместе с тем, отображают не изменения, происходящие в этом носителе, а внешний относительно сознания мир. Как отмечал Л.М. Веккер, характеристики осознаваемого продукта психической активности переживаются носителем сознания и могут быть им описаны на языке эмпирических свойств и отношений объектов внешней реальности [11]. Осознаваемые переживания не выводимы из своей физиологической основы и не являются отражением динамики физиологических процессов; они всегда отсылают нас к предметным свойствам внешнего мира. В этом смысле философы сознания говорят о нередуцируемости сознания или ментального. К этому стоит добавить, что и собственно психические, а не только физиологические процессы, экранированы от осознания. Перефразируя С. Пинкера, можно сказать, что мы настолько же не осознаем процесс функционирования разума, насколько

муха – причину откладывания ею яиц. В эффектах осознания не представлена сама работа механизмов сознания, например, механизмов внимания, сличения или принятия решения об осознании. Эффект осознания всегда сообщает субъекту познавательной деятельности только некоторое феноменальное знание («знание о...») и качественное знание («знание как...»). Последнее собственно и является условием чувства Я как собственного присутствия человека в реальности. Даже если мы говорим о таких психических образованиях как вторичный образ представления или сновидение, феноменальное знание, которое обнаруживает себя в этих продуктах деятельности сознания, представляет собой знание репрезентативного свойства: мы не можем представить сам образ представления или сновидный образ, а только объекты представления или сновидения, которые открываются в этих образах. Заметим: сами репрезентации не есть квалиа. *Квалиа* – это то, каким образом репрезентации субъективно переживаются, если они составляют содержание осознания. (Феноменальное знание может иметь место без какого-либо квалиа. Примерами могут служить феномен слепого зрения, феномен гипнотического запрета, эффекты понимания значения вербальной неосознаваемой информации, т.е. прайминг-эффекты. Между тем, не бывает осознанных переживаний без квалиа).

Если психику понимать как систему репрезентации, то при анализе устройства и природы этой системы необходимо, в первую очередь, учитывать саму физическую реальность, которая и является объектом репрезентации.

Ранее в ряде работ обосновывалось положение, согласно которому особая роль сознания в осуществлении познавательной деятельности заключается в селекции и проверке гипотез о внешнем мире и осознании результатов этой проверки [4, 12, 13]. При этом все гипотезы (идеи, варианты интерпретации актуальной ситуации, паттерны понимания) порождаются специальным блоком разума «когнитивным бессознательным». Все, что мы осознаем, до момента осознания существует в бессознательном качестве и лишь затем, осознается. «Когнитивное бессознательное» можно сравнить с идеальным теоретиком, который выдвигает одновременно множество идей, в том числе и нерелевантных существующей реальности. (Мысль о том, что бессознательное реализует множество параллельных процессов, неоднократно высказывалась психологами). Сознание же сравнимо с экспериментатором, который проверяет в данный момент времени конкретную гипотезу, получая определенный результат проверки (субъективное качественное переживание). Поскольку сознание в момент текущего настоящего проверяет всегда одну единственную идею на соответствие реальности, осознание не может быть параллельным, т.е. осознанные переживания существуют только в последовательной цепи состояний сознания. Осознанное переживание, таким образом, есть результат выбора и проверки на реальности одной из множества бессознательно сгенерированных идей.

К этому можно добавить, что существуют экспериментальные данные, которые указывают на то, что до осознания человек способен одновременно строить несколько вариантов интерпретации актуально воздействующего стимула, т.е. симультанно выдвигать несколько гипотез относительно наличной ситуации. Так, маскированные реверсивные фигуры, предъявленные в качестве прайма<sup>4</sup>, ускоряют опознание слов, семантически связанных как с одним, так и с другим изображением двойственной фигуры [14]. Хотя в каждый конкретный момент времени человек способен осознавать только одно изображение, однако оказывается, что он неосознанно может понимать одновременно сразу два значения. Эксперименты М. Филиповой, в которых она также использовала реверсивные фигуры,

<sup>4</sup> Праймы - стимулы, предъявляемые для создания контекста (синоним, антоним и др.), а семантический прайминг-эффект – наблюдаемое явление уменьшения времени реакции на целевое слово, когда целевому стимулу непосредственно предшествует предъявление стимула, семантически связанного с ним. *Прим. ред.*

показывают, что не только осознаваемое, но и неосознанное изображение оказывает влияние на продуктивность решения целевых когнитивных задач [15].

Д.А. Суинни использовал в своих экспериментах в качестве осознаваемых праймов семантически неопределенные слова, притом что они были уже ранее восприняты испытуемым в определенном контексте. Например, таким словом было слово «жучки» (bugs), которое означает либо подслушивающие устройства, либо насекомых. Испытуемым предъявляли пары слов. Первое слово в паре – «жучки». Вторым членом пары были слова «муравей», «шпион», либо какое-то нейтральное слово, например, «шить». Было установлено, что слова «муравей» и «шпион» распознаются быстрее, чем нейтральные слова, то есть те, которые не ассоциируются ни с одним значением многозначного стимула [16]. Даже независимо от предшествующего контекста, до осознания на начальных этапах когнитивной обработки активируются все значения слова с лексической неопределенностью и лишь затем совершается неосознаваемый выбор того значения, которое соответствует ранее осознанному контексту.

Сходную интерпретацию предлагает Дж. Р. Андерсон, который указывает на то, что альтернативные значения многозначного слова на непродолжительное время активны, но затем под влиянием контекста «очень быстро выбирается подходящее значение» [17, с.384]. Наконец, мнение С. Пинкера: «...мозг с ходу выдает обе словарные статьи для слова «жучок», несмотря на то, что одну из них было бы разумно заранее отклонить. Неподходящее значение не задерживается в сознании надолго. ... Возможно, именно поэтому люди отрицают, что они хоть как-то принимают во внимание неподходящее значение» [18, с.201, 202]. Можно выделить различные виды неосознаваемых детерминирующих влияний на процесс принятия решения об осознании, которые и определяют вероятность выбора одного из множества вариантов осознанной интерпретации [5].

Важно особо акцентировать внимание на том, что актуальный выбор единственного варианта из множества потенциальных альтернатив является необходимым, но недостаточным условием для осознания. Ранее высказывалась идея о том, что исполнение принятого решения является функцией специального механизма сознания, который условно был назван «рефлексивным механизмом»: «механизм принятия решения об осознании осуществляет актуальный выбор одного из множества неосознаваемых вариантов понимания действительности. Сделанный выбор реализуется другим функциональным устройством сознания – рефлексивным механизмом» [19, с.311]. Рефлексивный механизм сознания транслирует информацию, которая выбрана для осознания (но еще не осознана) в область актуально осознаваемого содержания сознания. Таким образом, субъективное переживание и, соответственно, чувство Я возникают на этапе рефлексии сделанного выбора – завершающем этапе микрогенеза осознания [19].

Так что же может делать только сознание и не может делать бессознательное, которое, казалось бы, умеет делать все? Бессознательное не может устранять ошибки. В некотором смысле бессознательное не совершает и не устраняет ошибки. Функция бессознательного – генерация всевозможных идей о мире. Само понятие «ошибка» имеет смысл только в определенной системе координат и в определенный момент времени, когда осуществлена проверка.

Вполне возможно, что сознание руководствуется логикой опровержения, а не подтверждения. Во всяком случае, то, что многократно находило подтверждение в опыте, вообще перестает осознаваться. Ориентация сознания на поиск противоречий (рассогласований) между существующей картиной мира (имеющимся опытом) и реальностью позволяет осознавать ошибки. Эксперименты показывают, что на слова с

явными ошибками или на непривычно написанные слова время реакция значимо больше по сравнению со словами, написанными без ошибок и привычным образом. Слова с ошибками испытуемые запоминают гораздо лучше, чем слова без ошибок, даже если при воспроизведении ошибки исправляются. Во всех этих случаях ошибка может пониматься как частный случай противоречия между ожидаемым и актуально воспринимаемым. Чем больше рассогласование, тем интенсивнее осознаваемое переживание. В то же время, чем более вероятно подтверждение гипотезы исходя из прошлого опыта, тем меньше интенсивность переживания. Именно поэтому мы меньше обращаем внимание на привычное в привычных ситуациях. Также известно, что неизменная стимуляция (стабилизированные изображения относительно сетчатки, стабилизированные предметы относительно рецепторного участка кожной поверхности, монотонный звук и т.п.) перестаёт осознаваться, а *множественно произведенные действия автоматизируются* и потому не требуют контроля сознания.

К этому следует добавить, что только осознание позволяет остановить инерцию ранее адекватных действий, но которые в изменившихся условиях оказываются ошибочными. В противном случае, человек был бы обречён на перманентное последствие, всегда наступая на одни и те же грабли. Однако, тот факт, что часто удаётся через эти грабли перешагнуть, говорит о том, что осознание ошибок является условием их исправления (об ошибочных действиях, а также способах элиминации устойчивых ошибок см. [19-21]).

### Заключение

Итак, «когнитивное бессознательное» в текущий момент времени одновременно строит множество репрезентаций или психических проекций макроскопического мира. Физическая необходимость существования и осуществления действий в данной физической реальности требует преодоления избыточности этих неосознаваемых репрезентаций. В силу того, что невозможно одновременно различными способами осознавать реальность, осознанные состояния ни логически, ни эмпирически не могут переживаться одновременно, поэтому квалиа в момент текущего настоящего должно быть единственным, а смена качественных состояний должна происходить последовательно.

Таким образом, появление квалиа продиктовано а) необходимостью выбора в данный момент времени единственной альтернативы; б) необходимостью проверки сделанного выбора на соответствие реальности. Осознанное переживание всегда является результатом не просто выбора, но, главным образом, проверки этого выбора. Очевидно, что результаты проверки не всегда подтверждают исходное знание; часто наши догадки о мире опровергаются. Несмотря на это, опровергающий опыт играет позитивную роль: фальсификация позволяет обнаруживать ошибки и заблуждения.

Именно благодаря осознанию человеческий разум приобретает поразительную гибкость в понимании действительности. К. Поппер по этому поводу высказывался так: «Главная разница между амёбой и Эйнштейном не в способности производить пробные теории, а в элиминации ошибок, то есть в способе устранения ошибок. Амёба не осознаёт процесса устранения ошибок. Основные ошибки амёбы устраняются путем устранения амёбы: это и есть естественный отбор. В противоположность амёбе Эйнштейн осознаёт необходимость элиминации ошибок: он критикует свои теории, подвергая их суровой проверке» [22, с. 240].

Конечно, остаётся ещё много вопросов: откуда берётся чувство Я? Благодаря чему человек, находящийся в состоянии психической нормы, понимает, что именно он является автором собственных чувств, побуждений и мыслей, т.е. собственником своего сознания? Что обеспечивает единство сознания и память о своём Я в прошлом? Существуют ли границы субъективной реальности? Чтобы ответить на эти вопросы, требуется построение



такой теории сознания, которая бы представляла собой не просто логические построения, но опиралась бы, прежде всего, на твердые эмпирические основания. Хотелось бы верить, что наука о сознании такую теорию ещё будет иметь в своем распоряжении.

## Признательность

Статья подготовлена в рамках исследовательских проектов, поддержанных РГНФ (грант № 12-06-00457) и РФФИ (грант № 13-06-00416).

## Список источников

- [1] *Боргест Н.М.* Научный базис онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2013. №1(7). С.7-25.
- [2] *Вундт В.* Введение в психологию. СПб, 2002. – 128 с.
- [3] *Чалмерс Д.* Сознательный ум: в поисках фундаментальной теории. М., УРСС. 2013. – 512 с.
- [4] *Агафонов А.Ю.* Как изучать сознание? // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 2-1. С. 85-90.
- [5] *Агафонов А.Ю.* Когнитивная психомеханика сознания, или как сознание неосознанно принимает решение об осознании. - Самара: Изд-во «Универс групп», 2006. - 348 с.
- [6] *Lewicki P., Hill T.* Unconscious processes as explanation of behavior in cognitive, personality and social psychology // Personality and Social Psychology Bulletin, 13, 1987.
- [7] По обе стороны сознания. Экспериментальные исследования по когнитивной психологии. Под общ. ред. А.Ю. Агафопова. Самара, Бахрах-М, 2012. – 192 с.
- [8] *Ворожейкин И.В., Агафонов А.Ю.* ИмPLICITное научение в зоне осознанного неразличения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 2-5. С. 1204-1207.
- [9] *Eichele N., S. Debener, V.D. Calhoun, R. Specht, A.K. Engel, K. Hugdahl, D.Y.von Cramon, M. Ullsperger* Prediction of human errors by maladaptive changes in event-related brain Networks // Proc. of National Acad. Sci. of the USA, 22 Apr.2008, V.105, No.16, P. 6173-6178.
- [10] *Ревонсуо А.* Психология сознания. СПб, 2013. – 336 с.
- [11] *Веккер Л.М.* Психика и реальность: единая теория психических процессов. М., 1998. – 685 с.
- [12] *Агафонов А.Ю.* Сознание: где искать черный ящик? // Методология и история психологии. Т.4. 2009. №1. С.151-165.
- [13] *Агафонов А.Ю.* Эволюционная эпистемология и когнитивная психология сознания, или Зачем человеку разум? // Вестник Самарского государственного университета. 2013. № 5 (106). С. 165-178.
- [14] *Куделькина Н.С.* Восприятие многозначной информации как предмет психологического исследования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12. Вып. 4. СПб, 2008. С. 268-277.
- [15] *Филиппова М.Г.* Исследование неосознаваемого восприятия (на материале многозначных изображений) // Экспериментальная психология познания. Когнитивная логика сознательного и бессознательного / Аллахвердов В.М. и др.. СПб., 2006. С. 165-187.
- [16] *Swinney D.A.* Lexical access during sentence comprehension: Reconsideration of context effects // Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 1979. No.18. – pp.645-659
- [17] *Андерсон Дж. Р.* Когнитивная психология. СПб., 2002. - 496 с.
- [18] *Пинкер С.* Язык как инстинкт. М., УРСС, 2004. - 456 с.
- [19] *Агафонов А.Ю., Гришаква Е.М., Найдич Е.А.* Феноменология ошибочных действий: психоаналитический и когнитивный подходы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 2-5. С. 1200-1203.
- [20] *Агафонов А.Ю., Сханов Р.А., Филиппова М.Г.* Когнитивная активность в условиях действия обратной связи различного типа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 2-3. С. 667-672.
- [21] *Агафонов А.Ю., Бурмистров С.Н., Сханов Р.А., Филиппова М.Г.* Эффекты научения в условиях противоречивой обратной связи // Вестник Самарского государственного университета. 2013. № 8.1 (109). С. 288-297.
- [22] *Popper K. R.* Evolutionary Epistemology // Evolutionary Theory: Paths into the Future / Ed. by J. W. Pollard. John Wiley & Sons. Chichester and New York, 1984, ch. 10, p.p. 239-255.

## SCIENCE OF CONSCIOUSNESS: UNSOLVED PROBLEMS

**A.Y. Agafonov**

*Samara State University, Samara, Russia*

*ayagafonov@yandex.ru*

### Abstract

The article discusses the most important issues related to the study of phenomenology of consciousness: the problem of the explanatory gap and cognitive function of awareness. In the analysis of awareness there were allocated phenomenal and qualitative aspects. The analysis of the phenomenal aspect assumes an explanation of empirical manifestations (effects of consciousness), thereby making it possible theoretical reconstruction of the logic of conscious activity. However, qualia ("the way it is experienced") provides subjective evidence of subject's experiences and is essential condition of awareness. Based on the accumulated experimental data there was suggested a possible solution of the problem of cognitive function of awareness. It is shown that the specific role of consciousness in the cognitive activity implementation is to detect errors, which is the prerequisite for their subsequent elimination.

**Key words:** *consciousness, phenomenal and qualitative knowledge, cognitive unconscious, subjective experience, qualia, awareness, cognitive errors.*

### References

- [1] **Borgest N.M.** Nauchnyy bazis ontologii proektirovaniya [Scientific basis for ontology of designing] // *Ontologiya proektirovaniya*. 2013. №1(7). – pp.7-25. (In Russian).
- [2] **Vundt V.** Vvedenie v psihologiyu [Introduction o psychology]. SPb, 2002. – 128 p. (In Russian).
- [3] **Chalmers D.** The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory., 1996. – 512 p. (In Russian).
- [4] **Agafonov A.Yu.** Kak izuchat soznanie? [How to study consciousness?] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011. T. 13. № 2-1. pp. 85-90. (In Russian).
- [5] **Agafonov A.Yu.** Kognitivnaya psihomehanika soznaniya, ili kak soznanie neosoznanno prinimaet reshenie ob osoznanii [Cognitive psychomechanic of consciousness, or how consciousness unconsciously makes a decision about perception]. Samara, 2006. –348 p. (In Russian).
- [6] **Lewicki P., Hill T.** Unconscious processes as explanation of behavior in cognitive, personality and social psychology // *Personality and Social Psychology Bulletin*, 13, 1987.
- [7] Po obe storonyi soznaniya. Eksperimentalnyie issledovaniya po kognitivnoy psihologii. Pod obsch. red. A.Yu. Agafonova. [On both sides of consciousness. Experimental research on cognitive psychology. Editor A.Yu. Agafonov] Samara, Bahrah-M, 2012. –192 p. (In Russian).
- [8] **Vorozheykin I.V., Agafonov A.Yu.** Implitsitnoe nauchenie v zone osoznannogo nerazlicheniya [Implicit learning in the zone of conscious undistinction] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. T. 14. № 2-5. pp. 1204-1207. (In Russian).
- [9] **Eichele N., S. Debener, V.D. Calhoun, R. Specht, A.K. Engel, K. Hugdahl, D.Y.von Cramon, M. Ullsperger** Prediction of human errors by maladaptive changes in event-related brain Networks // *Proc. of National Acad. Sci. of the USA*, 22 Apr.2008, V.105, No.16, pp. 6173-6178.
- [10] **Revonsuo A.** Psihologiya soznaniya [Psychology of consciousness]. SPb, 2013. – 336 p. (In Russian).
- [11] **Vekker L.M.** Psihika i realnost: edinaya teoriya psihicheskikh protsessov [Psyche and reality: unified theory of mental processes]. M., 1998. (In Russian).
- [12] **Agafonov A.Yu.** Soznanie: gde iskat chernyy yaschik? [Consciousness: where to find the black box?]/ *Metodologiya i istoriya psihologii*. T.4. 2009. №1. pp.151-165. (In Russian).
- [13] **Agafonov A.Yu.** Evolyutsionnaya epistemologiya i kognitivnaya psihologiya soznaniya, ili Zachem cheloveku razum? [Evolutionary epistemology and cognitive psychology of consciousness, or Why does the man need reason?]/ *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. № 5 (106). pp. 165-178. (In Russian).
- [14] **Kudelkina N.S.** Vospriyatie mnogoznachnoy informatsii kak predmet psihologicheskogo issledovaniya [Perception of multivalued information as an object of psychological research] // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. Seriya 12. Vyip. 4. SPb, 2008. pp. 268-277. (In Russian).
- [15] **Filippova M. G.** Issledovanie neosoznavaemogo vospriyatiya (na materiale mnogoznachnyih izobrazheniy) [Research of unconscious perception (on the material of multivalued pictures)] // *Eksperimentalnaya psihologiya poznaniya. Kognitivnaya logika soznatel'nogo i bessoznatel'nogo / Allahverdov V.M. i dr..* SPb., 2006. pp. 165-187. (In Russian).

- [16] *Swinney D.A.* Lexical access during sentence comprehension: Reconsideration of context effects // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1979. No. 18. – pp.645-659
- [17] *Anderson Dzh. R.* Kognitivnaya psihologiya [Cognitive psychology]. SPb., 2002. - 496 p. (In Russian).
- [18] *Pinker S.* Yazyik kak instinct [Language as instinct]. M., 2004. - 456 p. (In Russian).
- [19] *Agafonov A.Yu., Grishakova E.M., Naydich E.A.* Fenomenologiya oshibочnyh deystviy: psihoanaliticheskiy i kognitivniy podhody [Fenomenology of erroneous actions: psychoanalytical and cognitive approaches] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. T. 14. № 2-5. pp. 1200-1203. (In Russian).
- [20] *Agafonov A.Yu., Shanov R.A., Fillipova M.G.* Kognitivnaya aktivnost v usloviyah deystviya obratnoy svyazi razlichnogo tipa [Cognitive activity under presence of different types of feedback]// *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2013. T. 15. № 2-3. pp. 667-672. (In Russian).
- [21] *Agafonov A.Yu., Burmistrov S.N., Shanov R.A., Filippova M.G.* Effektyi naucheniya v usloviyah protivorechivoy obratnoy svyazi [Effects of learning under contradictory feedback]// *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. № 8.1 (109). pp. 288-297. (In Russian).
- [22] *Popper K. R.* Evolutionary Epistemology // *Evolutionary Theory: Paths into the Future* / Ed. by J. W. Pollard. John Wiley & Sons. Chichester and New York, 1984, ch. 10, pp. 239-255.

### Сведения об авторе



*Агафонов Андрей Юрьевич* окончил факультет психологии Санкт-Петербургского государственного университета в 1994 году. В 2006 году в СПбГУ защитил докторскую диссертацию на тему: «Феномен осознания в когнитивной деятельности». В настоящее время - заведующий кафедрой общей психологии Самарского государственного университета, член президиума Самарского отделения Российского психологического общества. Автор более 100 научных публикаций. Сфера научных интересов: когнитивная психология сознания, естественно-научные методы в психологии, методология психологии.

*Andrey Agafonov* graduated from the Psychology faculty, St. Petersburg State University in 1994. In 2006, St. Petersburg State University obtained doctorate, which thesis is: «The phenomenon of consciousness in cognitive activity». Currently Head of the Department of General Psychology in Samara State University, member of the presidium of the Samara branch of the Russian Psychological Society. Author of over 100 scientific publications. Research interests: cognitive psychology of consciousness, natural-scientific methods in psychology, methodology of psychology.

УДК 004.82

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ПРАВОВОЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Ю.Р. Валькман<sup>1</sup>, Е.А. Хала<sup>2</sup>

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем  
НАН и МОН Украины, Киев, Украина  
<sup>1</sup>yur@valkman.kiev.ua, <sup>2</sup>ceceroongreat@ukr.net*

### Аннотация

Статья посвящена проблемам онтологического инжиниринга в правовой предметной области. Исследуются особенности построения правовой онтологии и проблемы реализации этой онтологии. Системы, которые обеспечивают обмен знаниями между существующими юридическими системами, должны поддерживать перевод юридических баз знаний, представленных в различных форматах и формах. Формализм представления этих знаний должен обеспечивать их совместимость в рамках более крупной архитектуры для разработки юридических систем знаний. Предлагается метод введения нечёткой логики в правовые онтологии. Описаны две возможности, посредством которых эксперт может добавить знание в онтологии. Предлагаемые решения позволяют представлять неточную информацию в системах и реализовать нечёткие рассуждения.

*Ключевые слова:* нечёткий вывод, нечёткая логика, структура онтологии, анализ текста, текстовый контент, представление знаний, онтология, Protege, базовая онтология, право.

### Введение

Правовая область знаний является достаточно сложной по сравнению с другими предметными областями (ПрО), потому что включает знания о физических и социальных мирах, а также типовые правовые знания, которые фактически создают новый слой представления знаний. Для моделирования и описания правовых явлений и процессов актуальна задача создания систем, основанных на знаниях. Такие системы, включающие в себя элементы экспертной обработки и интеллектуального поиска, могут стать незаменимым инструментом в правотворческой и правоприменительной деятельности, стать основой для различных семантических приложений. Кроме того, подобные системы можно применять для решения учебных задач в юриспруденции.

Первым шагом в разработке такой системы является построение и принятие *онтологии* – в роли единого источника документированной совокупности терминов ПрО и правил, согласно которым термины могут быть использованы для построения достоверных утверждений о состоянии системы, а также для логического вывода новых утверждений. На основе онтологий пользователи и системы могут общаться друг с другом, поддерживая информационный обмен, базирующийся на семантике этой единой терминологической базы.

Понятие онтологии является достаточно широким по степени формализации. Так, к онтологиям можно отнести даже неструктурированный словарь с определениями. Поскольку в текстах правовых актов достаточно широко практикуется введение определений (например, в преамбулах некоторых законов), построить словарь терминов конкретной отрасли права не так сложно, но такая простая онтология не будет эффективна в использовании.

В.Д. Соловьев и В.В. Иванов [1] приводят перечень свойств, которые характерны только для ресурсов онтологического характера. Рассмотрим эти свойства.

- *Формальность* - точное определение иерархического отношения между классами (is-a), которое строго соблюдает транзитивность этого отношения.
- *Отношения класс-экземпляр* – такие онтологии могут содержать, помимо имен классов, экземпляры (индивиды) на нижнем уровне.
- *Свойства концептов* – особенно полезны, когда они определены на верхних уровнях и наследуются подклассами.
- *Ограничения на область значений свойств* – дополнительные ограничения на то, экземпляром какого класса может являться значение данного свойства.
- *Дизъюнктивные классы, обратные свойства* – классы, заведомо не имеющие общих экземпляров. Обратные свойства представляют собой пару свойств у двух разных классов, которые определяют отношения между их экземплярами.
- *Аксиомы* – позволяют создавать произвольные логические ограничения.

Очевидно, что эти свойства по мере использования расширяют возможности применения онтологий для моделирования различных процессов и явлений и делают их уникальным инструментом именно в социально-правовой ПрО.

Широко известно обоснование потребности в разработке и использовании онтологий [2]:

- совместное использование людьми или программными агентами общего понимания структуры информации;
- возможность повторного использования знаний в ПрО;
- создание явных допущений в ПрО;
- отделение знаний в ПрО от оперативных знаний;
- возможности объективного анализа знаний в ПрО.

Все эти аспекты применения онтологических структур находят приложения в анализе правовых ситуаций, исследовании юридических процессов, принятии решений в правовой практике. Данное направление начало интенсивно развиваться в последние десятилетия, и одна из методологий уже закреплена в соответствующих стандартах семейства IDEF (ICAM/Integrated Definition), которые создавались в США в рамках программы компьютеризации промышленности ICAM.

IDEF5 – *Ontology Description Capture* – стандарт онтологического исследования сложных систем. С помощью методологии IDEF5 онтология системы может быть описана при помощи определённого словаря терминов и правил, на основании которых могут быть сформированы достоверные утверждения о состоянии рассматриваемой системы в некоторый момент времени. На основе этих утверждений формируются выводы о дальнейшем развитии системы, и производится её оптимизация [3]. Помимо IDEF5 среди известных методологий в области онтологического инжиниринга можно также перечислить такие, как METHONTOLOGY [4], DILIGENT [5], NeOn [6].

## 1 Информационный поиск текстовых документов

### 1.1 Задачи онтологического инжиниринга в правовой сфере

В последнее время наблюдается значительный рост публикаций, посвящённых проблемам разработки и использования онтологий в самых различных приложениях. Проектирование онтологий в правовой сфере имеет следующие характерные черты [7]:

- 1) большое количество общепринятых понятий с особой спецификой использования;
- 2) существенное различие в структурах разных отраслей права;
- 3) наличие промежуточного общетеоретического правового уровня между онтологией верхнего уровня и онтологией ПрО;

- 4) большое количество теоретических допущений и абстрактных конструкций, зависящих от специфики правовых взглядов.

В правовой области используется большой документооборот (информационных структур, представленных естественно языковыми данными – ЕЯ), что усложняет не только поиск необходимых сведений, но и документов в целом. В информационном поиске рассматривается проблема поиска нужной информации из больших источников данных, таких как World Wide Web, интранет и электронные библиотеки. Информационные подходы извлечения знаний из корпусов текстов часто используют ключевые фразы для индексирования и поиска документов. Например, методология извлечения ключевых фраз документа, а затем вычисление частоты и получение соотношения между фразами [7].

При обработке ЕЯ-текстов общий подход заключается в анализе текстов с использованием грамматики и семантики. Компьютерные программы декомпозируют ЕЯ-текст на предложения, используя правила грамматики. Однако, определение значения предложения (его смысла) является весьма сложной проблемой.

Совокупность (или структура) знаний ПрО обычно представляется объектами, понятиями, сущностями и отношениями между ними. Всемирная паутина постоянно расширяет объём знаний, которые требуют чёткой структуры, то есть онтологии, чтобы описать их и сделать доступным для использования. Для этого был разработан специальный язык Resource Description Framework (RDF), предназначенный для описания метаданных о веб-ресурсах и для формирования онтологии (см., например, [1]). RDF — это разработанная консорциумом Всемирной паутины модель для представления данных является частью концепции семантической паутины. Основным элементом RDF является тройка: ресурс (*субъект*), связанный с другим ресурсом (*объект*), через дугу, маркированную ресурсом (*предикат*). Это означает, что «субъект» имеет свойство «предикат» со значением «объект».

Пользователи онтологии могут легко делиться знаниями через RDF, и некоторые исследователи используют онтологии в качестве подхода для повышения эффективности методов анализа текста. Палмер [8] предложил алгоритм, основанный на анализе расстояния с вычислением ценности подобия парных ключевых слов в онтологии. Так же был разработан алгоритм, который автоматически генерирует онтологию и классифицирует информацию с использованием нечётких нейронных сетей, и методология классификации документов, использующая не только автоматически построенную онтологию, но и частоты ключевого понятия документа для классификации. Нечёткая логика обеспечивает исследователей средствами для подражания правилам классификации экспертов.

В вычислительной среде знания представлены и хранятся с использованием специальных языков. Эти языки ориентированы на создание жёстких формальных структур. Знания же, представленные на ЕЯ, используют лингвистические конструкции, которые не могут быть чёткими, однозначными, непротиворечивыми. Поэтому в таких приложениях необходимо использовать средства нечёткой математики и другие методы мягких вычислений.

Кластеризация – общий метод для построения множеств, которые являются гомогенными в пределах групп, но гетерогенными между группами. Математический принцип объединения в кластеры максимизирует различие между группами и минимизирует различие в пределах групп. Методы кластеризации были успешно применены к текстовой обработке. Ранклер и Бездек сгруппировали тексты веб-страниц и последовательности веб-страниц, которые посещают пользователи. Другой пример кластеризации для анализа и синтеза текста, продемонстрировал Сюем, который использовал подход К-средних для того, чтобы сгруппировать доступные документы в кластеры. Фразы, извлечённые из документов, часто используются, чтобы установить отношения подобия между текстами документов. Эти отношения подобия используются в качестве основы для группирования документов в кластеры. Однако стати-

стический анализ ключевых фраз не может являться удовлетворительной основой для ЕЯ-кластеризации знаний в правовой ПрО. Поэтому представляется целесообразным анализировать и группировать документы, используя схему онтологии заданной области, а не подход имитации текста ключевой фразой. Для такой методологии необходимо, чтобы эксперты сначала построили онтологическую схему, то есть структуру знаний для ПрО, и затем обучили систему, используя заданный набор шаблонов. Здесь обработка ЕЯ применяется для построения онтологии доступных документов, а нечёткая логика – для вычисления онтологического сходства между документами для их группировки в различные кластеры.

## 1.2 Метод

Первоначально эксперты в ПрО определяют онтологию, используя базу знаний, инструменты редактирования RDF, язык Protege [9]. Затем слова и фразы (например, фрагменты текстов и аннотации) сопоставляются с соответствующими концептами онтологии области. Далее эксперты создают учебный набор шаблонов, используя простую и удобную в работе обработку ЕЯ с помощью инструмента под названием MontyLingua [10]. После этого вычисляются вероятности концептов в заданных фрагментах документа. Вероятности концепта рассчитываются в каждом конкретном документе, а затем используются для группировки шаблонов с нечёткими логическими выводами. Таким образом, иерархический алгоритм кластеризации уточняется, адаптируя нечёткую логику к процессу вывода понятия.

Введём некоторые определения используемых далее понятий.

*Шаблон* – повторяемая архитектурная конструкция, представляющая собой решение проблемы в рамках некоторого часто возникающего контекста.

*Корпус* – совокупность текстов, отобранных в соответствии с некоторой исследовательской задачей и специально подготовленных, размеченных, структурированных, представленных в унифицированном формате.

*Блок* – фрагмент документа, выделенный системой MontyLingua в качестве минимальной единицы хранения знаний для операций аналитической обработки.

Другие термины заимствованы из документации MontyLingua.

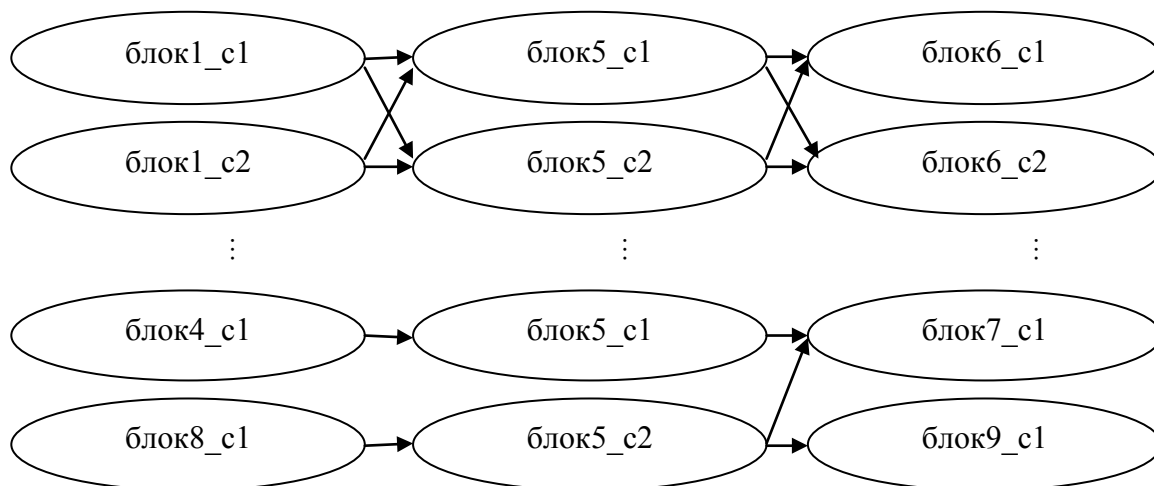
**Проектирование онтологии.** На первом шаге метода используется инструмент редактирования онтологий Protege. Этот редактор помогает экспертам ПрО построить онтологию, используя графическое редактирование [8]. Благодаря этим особенностям Protege считается подходящим инструментом для построения и редактирования онтологии. Онтология может быть автоматически преобразована в стандартные форматы данных (XML, RDF или OWL) для дальнейшего использования и интерпретации, анализа знаний и их синтеза.

**Обработка ЕЯ-текстов и обучение терминологии.** Чтобы измерить знание, содержащееся в документах относительно определённой структуры онтологии, система обучается, используя ряд доступных документов. Предложения из учебных документов помечаются для извлечения частей речи, фрагментов и аннотаций, с помощью инструмента обработки ЕЯ-текстов MontyLingua. Далее в таблице сопоставляются извлечённые слова с соответствующими концептами из онтологии. Система формирует запись вероятностей концептов, определяя, какое слово подразумевается в шаблоне. Условная вероятность  $P$  (явный концепт | слово  $C$  в блоке  $B$  корпусов), рассчитывается во время учебной сессии.

Чтобы поддержать полноту слов-понятий системы, процесс исследования включает повторяющийся механизм «переучивания». Для включения новых слов, которые не входят в текущую базу терминологии, новый термин сначала сохраняется в базе данных терминологии. После этого системный администратор определяет соответствующий онтологический концепт для данного термина. Это позволяет системе автоматически повторно вычислить и обновить онтологическую терминологию понятий базы знаний.

**Анализатор терминологии.** После обработки ЕЯ-текстов и обучения терминологии все выведенные концепты предложений являются случайной величиной, т.е. вероятности концептов для каждого блока вычислены.

**Извлечение знаний.** После анализа терминологии вычисляются вероятности концептов для каждого блока. Блоки, подразумевающие концепты как предикаты, первыми входят в онтологию. На рисунке 1 показано, что блок 5 подразумевает два концепта (кандидата) как предикаты в онтологии.



блок<sub>і</sub>\_с<sub>ј</sub> : понятие j, что блок i подразумевает.

Рисунок 1 – Фильтрация значений онтологии

Следующий шаг должен выбрать блоки, которые подразумевают концепты, как субъекты в онтологии от предыдущего предложения до следующего предложения. Поэтому концепты, которые подразумевает блок 1, блок 4 и блок 8, являются кандидатами на субъект. Тот же самый процесс используется, чтобы определить кандидатов объекта (блок 6, блок 7 и блок 9).

Если есть десять кандидатов на предмет, два кандидата на предикат и десять кандидатов на объект, то число заявленных кандидатов составит 200 (10×2×10). Запросы, которые не существуют в онтологии, устраняются. Наконец, выход генерируется с использованием вероятности, полученной из следующего выражения:

$$(1) \text{Max}_{\text{для всех значений блока } 5} \times \frac{\text{кандидат(субъект)} + \text{кандидат(предикат)} + \text{кандидат(объект)}}{3}$$

Процесс, описанный выше, используется для блоков, которые содержат концепты предиката в документе-онтологии. Таким образом, документ превращается в набор операторов в онтологии. Эти запросы рассматриваются как индексы документа и являются основой сходства при сравнении с другими документами.

**Подобные совпадения.** Для того, чтобы вычислить подобие между доступными документами, нечёткая логика используется для получения меры сходства. Содержание доступных документов разделено на набор главных понятий и набор деталей. Их сочетания и выводы представлены в таблице 1.

Перед введением в модель вывода, документы переводятся в онтологический формат с включением главных понятий и их деталей. Главные понятия состоят из «верхних троек», а детали состоят из «нижних троек»

$$(2) \quad s = \frac{TT}{ST},$$



где  $S$  - мера сходства документа 1 и документа 2;  $TT$  - схожие тройки в документе 1 и в документе 2;  $ST$  - суммы троек в документе 1 и в документе 2.

Нечёткие логические представления «многие совпадения», «некоторые совпадения» и «немногие совпадения» определены функциями принадлежности [12, 13].

Таблица 1 – Нечёткие правила для вывода подобия документов

№	Если два документа, состоящие из предложений (полученные в ответ на запрос из онтологии) с ...	то, полнота подобия этих двух документов...
1	Множеством совпадений главных понятий и Множеством совпадений подробных описаний	Высокая
2	Множеством совпадений главных понятий и Некоторыми совпадениями подробных описаний	Высокая
3	Множеством совпадений главных понятий и Несколькими совпадениями подробных описаний	Средняя
4	Некоторыми совпадениями главных понятий и Множеством совпадений подробных описаний	Высокая
5	Некоторыми совпадениями главных понятий и Некоторыми совпадениями подробных описаний	Средняя
6	Некоторыми совпадениями главных понятий и Несколькими совпадениями подробных описаний	Средняя
7	Несколькими совпадениями главных понятий и Множеством совпадений подробных описаний	Средняя
8	Несколькими совпадениями главных понятий и Некоторыми совпадениями подробных описаний	Низкая
9	Несколькими совпадениями главных понятий и Несколькими совпадениями подробных описаний	Низкая

Нечёткая модель вывода применяет преимущества «если-то»-правил в условиях нечёткости входа и выхода. Очевидность формулировки модели, простого вычисления и ясности в представлении традиционной лингвистики поддерживает выбор этого подхода. Таким образом, нечёткая модель вывода Мамдани использует «мин-мин-макс»-операцию, рассматривая два правила: «принят» и «изменен». Изначальная «мин-мин-макс»-операция Мамдани [13] рассматривает подход с двумя правилами, но рассматриваемая версия манипулирует девятью правилами одновременно. Этапы этой процедуры заключаются в следующем.

- 1) Вычисляют сходство документов, удовлетворяющих основные понятия ( $X_{mc}$ ) и сходство документов, удовлетворяющих подробные описания ( $X_{dd}$ ).
- 2) Определяют оценки  $X_{mc}$  и  $X_{dd}$ , используя правила из таблицы 1, чтобы получить соответствующую принадлежность.
- 3) Сравнивают принадлежности и выбирают минимальное значение из двух наборов, соответствующего понятия (высокое сходство, среднее сходство и низкое сходство) для каждого правила.
- 4) Собирают принадлежности, которые представляют одно и то же самое понятие в одном наборе.
- 5) Получают максимальную принадлежность для каждого набора и вычисляют результат вывода.

**Дефазификация и объединение в кластеры.** Процедуры вывода генерируют принадлежность в представлении различных уровней сходства. Однако, эти значения - все ещё нечёткие, и они требуют дефазификации, чтобы помочь сгенерировать значения, представляющие сходство документов. Процессы дефазификации состоят из двух шагов. Первый этап должен решить, какое сходство («высокое сходство», «среднее сходство», и «низкое сходство») лучше всего представляет отношения между этими двумя документами. На вто-

ром этапе основное внимание уделяется преобразованию значения принадлежности из сходства. Подробное преобразование значения сходства зафиксировано в следующих трех случаях.

*Случай 1 – высокое сходство ( $U_H > U_L$  и  $U_H > U_M$ ).* Если значение, вычисленное в вышеупомянутой процедуре (нечёткого вывода Мамдани), происходит от понятия «высокого сходства», следующее выражение используется для определения сходства значений документов  $i$  и  $j$ :

$$(3) \quad r_{ij}(U_H) = \left\{ \frac{2+U_H}{3} \right\},$$

где  $U_H$  – значение функции принадлежности для переменной «высокое сходство»;  $U_M$  – то же для «среднее сходство»;  $U_L$  – тоже для «низкое сходство»,  $0 \leq U_H, U_M, U_L \leq 1$ .

*Случай 2 – среднее сходство ( $U_M > U_H$  и  $U_M > U_L$ ).* Если значение, рассчитанное по вышеупомянутой процедуре, исходит от «среднего сходства», приводимое далее выражение используется, чтобы определить значение сходства. При определении значения сходства от «среднего сходства» взаимосвязь между «высоким сходством» и «низким сходством» влияет на сдвиг значения дефаззификации. В результате используются три выражения для соответствия различным отношениям между «высоким сходством» и «низким сходством».

$$(4) \quad r_{ij}(U_M) = \begin{cases} \frac{2+U_M}{6}, & U_L > U_H \\ \frac{4-U_M}{6}, & U_H > U_L \\ \frac{1}{3}, & U_L = U_H \end{cases}$$

*Случай 3 – низкое сходство ( $U_L > U_H$  и  $U_L > U_M$ ).* Если значение, рассчитанное согласно вышеупомянутой процедуре, происходит от понятия «низкого сходства», используется следующее выражение:

$$(5) \quad r_{ij}(U_L) = \left\{ \frac{1-U_L}{3} \right\}.$$

После того, как все меры сходства вычислены, генерируется матрица подобия. Затем используется иерархический алгоритм кластеризации, чтобы последовательно искать различные кластеры в соответствии с различной степенью связи между объектами, как выражено в матрице

$$(6) \quad \begin{bmatrix} 1 & \cdots & r_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & 1 \end{bmatrix},$$

где  $r_{ij}$  – сходство документа  $i$  и документа  $j$  (следовательно, значение  $r_{ij}$  равно  $r_{ji}$ ).

Применение иерархического алгоритма кластеризации заключается в следующем.

- 1) найти максимальное ( $r_{ij}$ ) в матрице и сгруппировать документы  $i$  и  $j$  в новую группу.
- 2) вычислить отношение между новыми кластерами и другими документами при помощи метода средней связи.
- 3) перейти к шагу 1) до тех пор, пока не останется один кластер слева.

## 2 Нечёткое значение и обработка неопределённых данных

Концептуального формализма стандартной онтологии может быть недостаточно для представления неточной информации. Это часто встречается во многих прикладных областях. Например, ключевые слова, полученные многократными запросами в одной и той же

области нельзя рассматривать как базу, так как некоторые ключевые слова могут быть более значимыми, чем другие. Таким образом, возникает необходимость в различной интерпретации ключевых слов в зависимости от контекста.

Одно из возможных решений обработки неопределённых данных заключается в обеспечении включения нечёткой логики в онтологию [14]. Цель использования теории нечётких множеств состоит в описании неопределённого понятия через обобщённое понятие множества. Например, семантическое содержание заявления, такого как «*Правовые отношения – одна из важнейших и конкретных форм социального бытия*», может иметь степень, или значение истинности, 0,6. В настоящее время нечёткие множества и онтологии совместно используются для устранения неопределённой информации в различных областях. Активно ведутся исследования применения теории нечёткой логики в онтологиях. Нечёткая логика интегрируется в онтологию для того, чтобы получить расширенную онтологию, которая больше подходит для решения проблем неопределённости рассуждений.

## 2.1 Нечёткая логика и определение нечёткого значения

Здесь представлена логическая основа работы с неопределённостью. Это представляет интерес для всех приложений онтологии, в которых пользователь использует информацию, которая содержит неточное и расплывчатое описание понятий. Например, могут представлять интерес рассуждения с такими понятиями как «дорогой товар», «высокая скорость», и т.д.

Для того чтобы справиться с этими проблемами предлагается подход, основанный на теории нечётких множеств. Идея состоит в расширении редактора онтологии, так чтобы непосредственно обрабатывать неопределённости в процессе построения онтологии с обогащенной ПрО.

Рассмотрим непустое множество объектов  $U$ , называемое универсумом. Нечёткое множество определяется с помощью функции  $f$  на  $U$ ,  $f: U \rightarrow [0, 1]$ . Для  $x \in U$  значение  $f(x)$  указывает принадлежность элемента  $x$  рассматриваемому нечёткому множеству [15, 16].

Первая проблема заключается в том, как назначить нечёткое значение субъекта онтологии. Высокая степень понятности и точности являются противоречивыми целями и на практике одно из двух свойств преобладает над другим. В зависимости от того, какое требование реализуется в первую очередь, нечёткую область моделирования можно разделить на две различные области:

- *лингвистическое нечёткое моделирование* - основной целью здесь является получение нечётких моделей с хорошей интерпретируемостью;
- *точное нечёткое моделирование* - основной целью является получение нечёткой модели с хорошей точностью.

Необходимо быть как можно более объективными к обоим целям, которые стоят перед экспертом: определить точное значение или определить язык.

В первом случае эксперт при создании онтологии определяет функцию  $f$ : (Понятие  $\cup$  Экземпляр)  $\times$  Свойство  $\rightarrow$  Значение свойства  $\times [0,1]$ , т.е.  $f(o, p)$  – это значение, которое свойство  $p$  у понятия или экземпляра  $o$  принимает с соответствующей степенью. Например, в гипотетической онтологии о продуктах,  $f(\text{товар}, \text{цена}) = (\text{дорогой}, 0,8)$  означает, что для свойства «цена», экземпляр товара будет иметь значение «дорогой» со степенью 0,8 [17, 18].

Очевидно, что могут существовать ситуации, в которых нет «Значения свойства», определённых для данного свойства. Например, «У товара есть побочный эффект со значением 0,9» не может быть корректно выражено с помощью только формализма. В этой ситуации, необходимо сопоставление пары (понятия/экземпляр, свойство) значению из  $[0, 1]$ , то есть

$f'$ : (Понятие  $\cup$  Экземпляр)  $\times$  Свойство  $\rightarrow [0,1]$ , и выше упомянутый пример будет выглядеть как  $f'$ (товар, побочный эффект) = 0,9 [5].

Для упрощения обозначений определим функцию  $g$ : (Понятие  $\cup$  Экземпляр)  $\times$  (Свойство  $\cup$  Значение свойства)  $\rightarrow [0, 1]$ . Таким образом, «Товар по дорогой цене со значением 0,8» будет  $g$ (товар, дорогой) = 0,8. Используя такую функцию  $g$ , у эксперта есть шанс выбрать ценность значения с любой точностью, то есть точность предпочтительней интерпретируемости.

С другой стороны, вторая возможность заключается в том, чтобы выбрать в качестве членов значения метку в заданном множестве. Возьмём множество  $L = \{\text{мало, достаточно, умеренно, вполне, очень, полностью}\}$  которое, очевидно, не является исчерпывающим из всех возможных меток, но которое может быть интуитивно изменено.

В этом случае значение  $g(o, p)$  формируется в соответствии с функцией, представленной в таблице 2.

Таблица 2 – Сопоставление нечёткого значения метке

Метка	Значение
мало	0.2
достаточно	0.4
умеренно	0.6
вполне	0.7
очень	0.8
полностью	1.0

Подводя итог, мы даём возможность добавить принадлежность значения в паре (понятия/экземпляр, свойство) двумя различными способами: через точное значение  $v \in [0, 1]$  или выбрав метку в определенном заранее множестве  $L$ . Таким образом, через функцию  $g$  определим новое отношение в онтологии.

Другая возможность состоит в том, чтобы нечётким считать сам объект (понятие или экземпляр). В этом случае можно определить функцию  $h$ : Понятие  $\cup$  Экземпляр  $\rightarrow [0, 1]$ .

Итак, значение принадлежности задаётся с помощью одной из двух функций  $g$  и  $h$  числом в единичном интервале  $[0, 1]$ . Это позволяет приложениям, основанным на нечёткой онтологии, использовать стандарты и хорошо изученные инструменты. Например, для того, чтобы задать два (или более) различных нечётких значения, может использоваться оператор накопления. Самый простой пример  $t$ -норма и  $t$ -конорма, то есть двоичное отображение, которое соответствует семантике с «OR», «AND» операторами. Наиболее известны геделевские норма и конорма, т.е. минимаксные операторы. Учитывая примеры, приведённые выше, можно осуществить вычисление значения истинности выражения «Товар по дорогой цене и имеет побочный эффект». Если известно, что  $f$ (товар, дорогой) = 0,8 и  $f$ (товар, побочный эффект) = 0,9, то  $[f$ (товар, дорогой) и  $f$ (товар, побочный эффект)] =  $\min\{0.8, 0.9\} = 0,8$  [18, 19].

Определение для нечёткой онтологии будет следующим: нечёткая онтология – онтология, расширенная нечёткими значениями, которые задаются двумя функциями:

$g$ : (Понятие  $\cup$  Экземпляр)  $\times$  (Свойство  $\cup$  Значение свойства)  $\rightarrow [0, 1]$  и

$h$ : Понятие  $\cup$  Экземпляр  $\rightarrow [0, 1]$ .

## 2.2 Обновление нечёткого значения

После того, как эксперт разработал нечёткую онтологию, будет неверно предполагать, что она будет эффективна, и что любое нечёткое значение чётко определено и подходит для применения в любой ситуации. Таким образом, необходима разработка механизма измене-

ния нечётких значений для того, чтобы наилучшим образом настроить их на конкретную среду, ситуацию или обобщить.

Предположим, что текущее нечёткое значение  $f$ . И, как результат запроса, оно должно быть обновлено до  $f_{new}$ . Простейший способ - это задать  $f := f_{new}$ . Закономерно предположить, что после того, как некий запрос нечёткого свойства достигнет стабильного значения, будет бесполезно изменять его на  $f_{new}$ , теряя всю историю приобретённых знаний. Решение этой проблемы может заключаться в уменьшении важности  $f_{new}$  при любом изменении:

$$(7) \quad f := f + \frac{f_{new} - f}{Q + 1},$$

где  $Q$  – количество обновлений, выполненных для заданного значения. Понятно, что значение  $Q$  должно храниться в онтологии для любого определения нечёткого значения [20].

Теперь вопрос заключается в том, чтобы вычислить новое нечёткое значение  $f_{new}$ . Маловероятно найти в документе точное определение нечёткого значения, но, как правило, можно найти языковой классификатор. Например, мы не нашли «Отношения – важная форма бытия со значением 0,8». Но смысл этого тезиса заключается в том, что «Отношения – очень важная форма бытия». Для этого рассматривается подход на основе модификаторов понятия.

Модификаторы понятий имеют влияние на изменение нечёткого *Значения свойства*. Зададим ряд лингвистических ограничений, таких как «очень», «более или менее», «едва». Тогда модификатор понятия - система одного или более ограничений, таких как «очень немного» или «очень-очень немного». Любому (лингвистическому) модификатору понятия необходимо сопоставить (числовой) член модификатора.

Член модификатора – это значение  $\beta > 0$ , которое используется в качестве *показателя* для изменения значения функции принадлежности  $f$  как  $f^\beta$ .

В соответствии с их воздействием на нечёткое значение, ограничения можно разделить на две группы: концентрирующие и растягивающие. Влияние концентрирующего модификатора заключается в снижении степени принадлежности значения. Таким образом, в данном случае он должен быть  $\beta > 1$ . Например, для ограничения «очень», назначается  $\beta = 2$ . Таким образом, если мы знаем, что  $g(\text{отношения, важная форма}) = 0,8$ , т.е. «Отношения – важная форма бытия со значением 0,8», то «отношение есть очень важная форма» со значением  $0,8^2 = 0,64$ . Напротив, ограничение типа расширения может повышать значение принадлежности, то есть  $\beta \in (0, 1)$ . Например, если для «достаточно» присваивается  $\beta = 0,4$  и  $g(\text{отношения, важная форма}) = 0,8$ , то у «отношение достаточно важная форма» со значением  $0,8^{0,4} = 0,91$ , интуитивно понятно, что если что-то является «важным», тогда оно в какой-то степени и «достаточно важное». Заметим, что такой подход отличается от подхода Заде, в котором «достаточно», а также другие модификаторы, обрабатываются более сложным образом. Преимущество этого метода заключается в том, что он обеспечивает универсальный и простой способ управления модификаторами понятий, даже если при углублении таким способом в семантику необходимо обращаться к цепям модификатора [17, 20, 21].

Таким образом, модификаторы понятий используются в публикациях обычно для определения нового нечёткого члена с учётом уже существующих. Например, если мы знаем нечёткое значение свойства «важный», можно вывести нечёткое свойство члена «очень важный» простым возведением в степень 2 значения «важный». Вместе с тем, здесь можно говорить о противоположной ситуации. В качестве примера, предположим, что мы знаем из онтологии свойство «важный», а также (как результат запроса), что некий объект «очень важный». Таким образом, из «очень важный» мы должны вывести *новое* свойство «важный» для этого объекта. Так, если в онтологии  $g(o, \text{важный}) = 0,7$ , необходимо увеличить это значение, например  $g(o, \text{важный}) = 0,7^{0,5}$ . Эффект «очень» повышает значение свойства, не уменьшая его величину. Таким образом, можно сказать, что в обычном случае выполняется

вывод: «важный» → «очень важный», в то время как в данной ситуации: «важный и очень важный» → «важный».

Этот случай также распространяется на все другие концепции модификаторов. Таким образом, то, что обычно считают модификатором концентрации, становится растяжением и наоборот.

Необходимо решить следующую проблему: определить, какой модификатор рассматривается (и каково его значение) и определить метод вычисления  $\beta$ , значения для цепей концепции модификаторов.

Выберем множество ограничений  $H = \{\text{очень, гораздо больше, больше, больше или меньше, средне, слегка}\}$ . Это только один из возможных вариантов. Множество  $H$  может быть изменено в зависимости от потребностей, при условии, что оно удовлетворяет следующим двум свойствам.

- $H$  - множество упорядочено, т.е. *очень* < ... < *слегка*, и значение  $\beta$  фиксировано только для меньших и больших элементов соответственно как 0,5 и 2.
- Два подмножества концентрирующих ограничений {более или менее, средне, слегка} или растягивающих ограничений {очень, гораздо больше, более} имеют одинаковую мощность (одинаковое количество элементов).

Эти два условия необходимы для расчета принадлежности модификатора последовательности ограничений. Единственная разница - в задании инверсии ограничения, связанная с использованием модификаторов понятий [21].

Открытым вопросом является то, что множество  $H$  модификаторов понятий не исчерпывает всех нюансов ЕЯ. Многие элементы могут быть добавлены в  $H$ , а это потребует новых алгоритмов для их обработки; поскольку не все существующие модификаторы понятий могут быть полностью заданы или точно разделены на две подгруппы одинаковой мощности.

### 2.3 Примеры применения

Приведём два примера возможного использования нечётких онтологий. Первый основан на нечётком значении связанной (случай, свойства) пары, а второй способ использует понятия с нечётким значением для решения проблемы перегрузки.

*Расширение запросов.* При выполнении запроса на документ обычной практикой является расширение набора значений понятия, которые уже присутствуют в запросе, теми, что могут быть получены из онтологии. Очевидно, что такое расширение запроса возможно за счет родителей и потомков понятия. Возможность использования нечётких онтологий также расширяет запросы.

Чтобы принять решение, в каком случае производить добавление к расширенному запросу, мы должны определить, как лингвистические метки соотносятся с численными значениями. Решение такое же, как раннее описанное, только метки, принадлежащие множеству  $L$ , допускаются в запросах, и они преобразуются в числовые значения в соответствии с таблицей 1. Если  $c$  – понятие,  $p$  – свойство и  $l$  – метка, тогда  $\mu(c, p, l)$  – значение данной метки  $l$  для свойства  $p$  и понятия  $c$ . Теперь рассмотрим все случаи  $i$  понятия  $c$ . Они включаются в расширенный запрос, если и только если:

$$(8) \quad |\mu(c, p, l) - g(i, p)| \leq e,$$

где  $e \in [0,1]$  - уровень доверия.

Очевидно, количество экземпляров, которые будут добавлены к расширенному запросу, зависит от значения  $e$ . Граница случаев  $e = 0$  содержит только те случаи, которые точно соответствуют запросу, и входят в него; при  $e = 1$  все экземпляры включены.

Понятно, что в простейшем случае только одно свойство присутствует в запросе. Если два или более запроса должны быть удовлетворены, необходимо обобщить уравнение (8). Предположим, что в запросе есть  $n$  свойств, ссылающихся на те же понятия, что и экземпляр  $c$ , тогда

$$(9) \quad \frac{\sum_{j=1}^n |\mu(c, p, l) - g(i, p)|}{n} \leq e.$$

Т.е. требуем, чтобы среднее значение расстояний между *Значениями свойств* в запросе и *Значениями свойств* в экземплярах было меньше допустимого  $e$ .

*Перегрузка понятия.* Предположим, что понятие  $c$  присутствует в различных фрагментах онтологии. Цель состоит в том, чтобы дать указания о том, какое место является более значительным по отношению к определённому домену. На первом этапе понятию, которое присутствует в нескольких местах, дается одинаковое во всех местах нечёткое значение, сумма этих значений составляет 1.

Для любого  $c_i$  множество его местных условий  $L_i$ , определяемых родителями и потомками, вычисляются из онтологии. Затем все элементы  $l \in L_i$  ищутся в документах с назначенным на них весом  $w_i^j$ . Допустим, что в рассматриваемом документе есть  $l_j$  вхождений для элемента  $l$ . Тогда для любого понятия  $c_i$  и для любого документа  $d$  вычисляются следующие функции:

$$(10) \quad \mu_d(c_i) = \sum_j l_j w_i^j.$$

Сумма по всем  $n$  документам  $\mu_d$  обозначена как  $\mu$ :

$$\mu(c_i) = \sum_{d=1}^n \mu_d.$$

Затем новое значение принадлежности для понятия  $c_i$  и документа  $d$ :

$$(11) \quad h_{new}(c_i) = \frac{\mu_d(c_i)}{\mu(c_i)}.$$

Эти значения используются для обновления  $h(c_i)$  в соответствии с выражением (7), и они применяются с учетом релевантности, так что значения из более значимых документов обрабатываются в первую очередь и имеют большее влияние, чем следующие.

### 3 Разработка онтологии для правовой области

Онтологическая парадигма поддерживает проектирование системы онтологических моделей и обеспечивает взаимодействие с лингвистической компонентой при разработке лингвистических приложений. Одной из важных задач является сопряжение онтологических и лингвистических моделей представления знаний. Онтологическая модель задаёт способ структурирования знаний, лингвистическая модель определяет способы функционирования языковых единиц в текстах. Другими словами, лингвистическая модель определяет лексические, семантические и синтаксические модели концептуальных единиц, в том числе, онтологических единиц. Это особенно характерно для восходящей стратегии моделирования, но и при нисходящей стратегии конечная онтология в итоге всё равно должна содержать термины, которые используются в правовых актах. Это позволяет относить правовые онтологии скорее к лингвистическим, чем к формальным.

В случае с правовым материалом, особенно при построении отраслевой онтологии, основной текстовый массив совпадает с законодательной базой данной отрасли, т.е. представ-

ляет собой чётко определённый перечень правовых актов, доступ к которым обеспечен всем гражданам.

Несмотря на разнообразие правовых актов и возможные недостатки юридической техники, тексты правовых актов в идеальном случае всегда должны отличаться свойствами, которые облегчают формализацию ПрО. Среди свойств можно выделить следующие:

- нейтральность (отсутствие экспрессивности);
- безличный характер;
- связность;
- последовательность;
- точность мысли;
- наличие большого количества стандартных оборотов;
- сильно выраженная структурированность текста.

Во многих случаях для решения прикладных задач онтологического инжиниринга в правовой сфере удобно использовать некоторую общую базовую юридическую онтологию, которая разрабатывается без учета конкретной решаемой задачи и которая может быть легко расширена. В настоящий момент отсутствует единая общеприменимая правовая онтология, в то время как опыт зарубежных исследователей показывает, что создание подобной онтологии не только возможно, но и необходимо. Такая онтология могла бы быть определена в качестве основы для разработки практически применимых онтологий для решения задач в конкретных отраслях права.

Представляется нецелесообразным проводить всю работу по формализации правовой сферы без использования данных других онтологических проектов. Правовая онтология, которая является частью общей архитектуры для систем правовых знаний, обеспечивающих обмен такими знаниями между существующими системами правовых знаний, - это формат обмена правовыми знаниями LKIF (Legal Knowledge Interchange Format) [22]. LKIF выполняет две основные роли:

- включает перевод между правовыми базами знаний, представленными в различных форматах и формах;
- представляет формализм знаний, который является частью большой архитектуры для разработки правовых систем знаний.

Эти случаи использования LKIF приводят нас к классическому компромиссу между уступчивостью и выразительностью. Дополнительное требование заключается в том, что формат LKIF должен соответствовать текущему Semantic Web стандарту для включения службы правовой информации через сеть из комбинации языков OWL DL и SWRL.

Таким образом, актуальной является задача: на основе базовой юридической онтологии LKIF создать юридическую онтологию верхнего уровня применительно к системе права с использованием русскоязычных концепций.

### 3.1 Реализация онтологической модели

Реализация модели невозможна без выбора соответствующих средств моделирования и определения стратегии разработки.

Выбор средства моделирования не представляет особой сложности: за основу взята «родительская» онтология LKIF [22]. Онтология LKIF не только обеспечивает теоретическое понимание правовой области, но её прагматическое использование - как инструмент, чтобы облегчить приобретение знания, обмена и его представления (в частности, формализовать части существующего законодательства).

Онтология LKIF должна содержать «*фундаментальные понятия закона*». От потенциальных пользователей зависит, какой словарь будет использоваться. Выделено и идентифи-



цировано три главных группы пользователей: *граждане* (непрофессионалы), *юристы* и *правоведы*. И, хотя юристы используют правовой словарь более грамотно и тщательно, чем непрофессионалы, для большинства из используемых терминов по-прежнему существует некоторое общее понимание (и можно рассматривать соответствующие термины как более или менее схожие).

Вместе с тем, множество основных терминов имеет определенное юридическо-техническое значение, например, «*ответственность*» или «*правовой факт*».

В роли стратегии моделирования была выбрана система METHONTOLOGY [4]. METHONTOLOGY, как подход к построению и сопровождению онтологий, разработан Асунсьон Гомез-Перез (A. Gomez-Perez) с коллегами. В рамках этой методологии реализуются принципы Тома Грубера, а также разработан программный комплекс спецификации онтологии ODE (Ontology Design Environment).

Данный подход выделяет следующие процедуры в «жизненном цикле» создания онтологии: управление проектом, собственно разработка и поддержка разработки.

Процедуры управления проектом включают планирование, контроль и гарантии качества. Планирование определяет, какие задачи должны быть выполнены, как они организуются, как много времени и какие ресурсы нужны для их выполнения. Контроль гарантирует, что запланированные задачи выполнены и именно так, как это предполагалось. Гарантии качества нужны для того, чтобы быть уверенным в том, что компоненты и продукт в целом находятся на заданном уровне.

### 3.2 Разработка онтологии правового субъекта

Технология разработки онтологии включает следующие процессы: спецификацию, концептуализацию, формализацию и реализацию. На рисунке 2 приведён пример фрагмента таксономии понятия правового объекта онтологии.

В соответствии с обсуждаемой здесь методологией сначала строится глоссарий терминов, включающий все термины (концепты и их экземпляры, атрибуты, действия и т. п.), важные для ПрО, и их ЕЯ-описания. Фрагмент этого глоссария представлен в таблице 3.

Когда глоссарий терминов достигает «существенного» объёма, строятся деревья классификации концептов. Таким образом, идентифицируются основные таксономии ПрО, а каждая таксономия, согласно рассматриваемой методологии, и представляет собой, в конечном счёте, онтологию.

Следующим шагом является построение диаграмм бинарных отношений. Целью их создания является фиксация отношений между концептами одной или разных онтологий. Заметим, что в дальнейшем эти диаграммы могут послужить исходным материалом для интеграции разных онтологий. Пример фрагмента таксономии понятия правового объекта онтологии представлен на рисунке 2.

Таблица 3 – Фрагмент глоссария терминов онтологии правового объекта

Имя	Синонимы	Акронимы	Описание	Тип
Возраст совершеннолетия	-	-	Возраст совершеннолетия с 18 лет	постоянная
Суд	судебный трибунал	-	Хотя «суд» может быть понят как физическое место или как судья, считаем, что суд - судебный трибунал	концепт
Дата рождения	-	-	Дата, когда человек родился	отношение
Ответчик (человек, судебный процесс)	-	-	Судебный процесс ответчика	Атрибут экземпляра

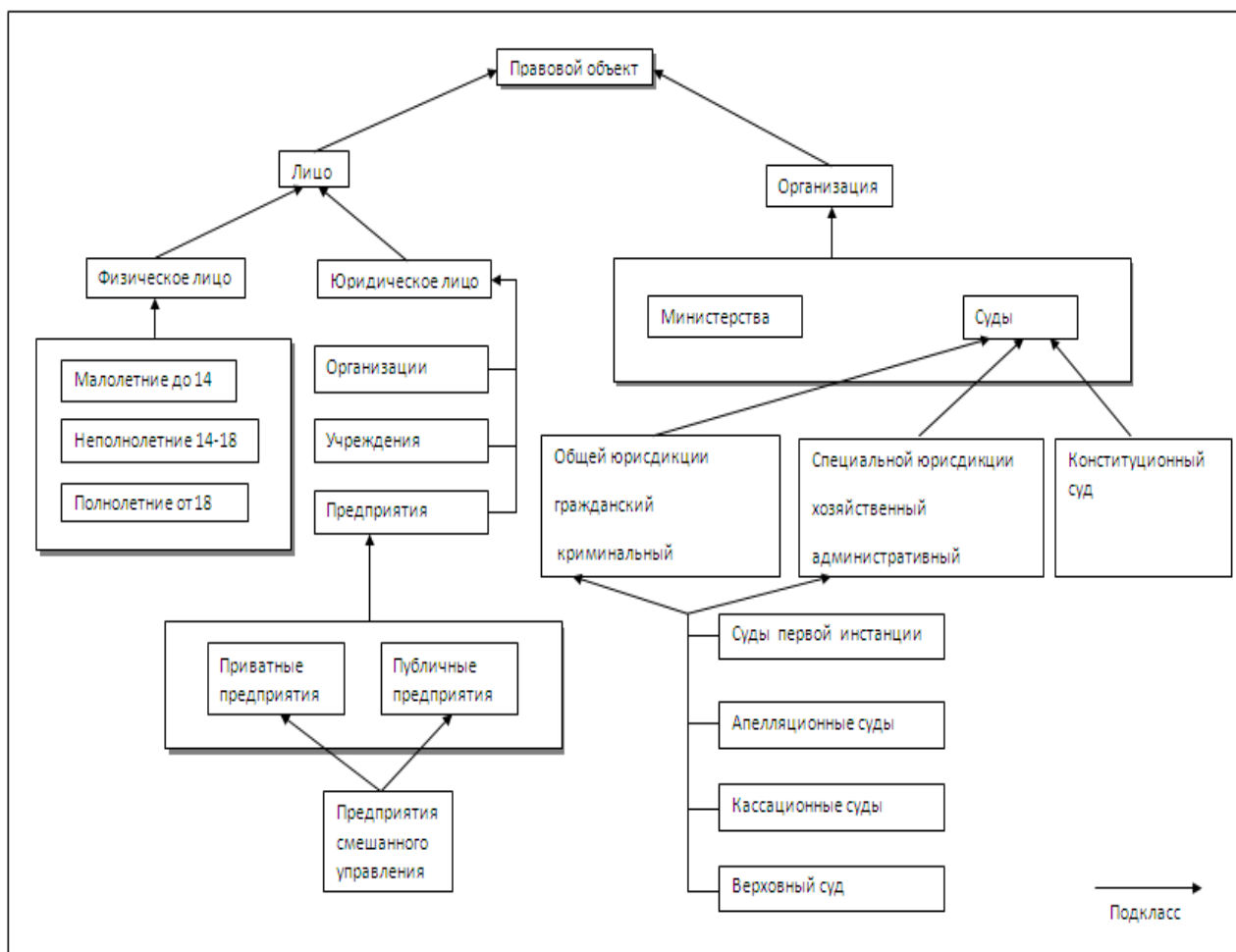


Рисунок 2 – Пример фрагмента таксономии понятия правового объекта онтологии

После фиксации представлений, отмеченных выше, для каждого дерева классификации концептов определяется следующее.

- 1) в *словаре концептов* описываются все концепты ПрО, их экземпляры, атрибуты экземпляров концептов, отношения, источником которых является концепт, а также (опционально) синонимы и акронимы концепта. Фрагмент словаря концептов представлен в таблице 4.
- 2) в *таблице бинарных отношений* для каждого отношения фиксируются его имя, имена концепта-источника и целевого концепта, инверсное отношение. На рисунке 3 представлен фрагмент диаграммы специальных бинарных отношений. В таблице 5 представлен фрагмент этой таблицы.
- 3) в *таблице атрибутов экземпляра* описываются следующие свойства атрибутов: его имя, имя концепта, тип значения, единица измерения, точность, диапазон изменения, значение «по умолчанию», мощность, атрибуты, формула или правило для вывода атрибута (для каждого экземпляра из словаря концептов). Под *мощностью* понимается кардинальное число соответствующего кортежа: минимальное и максимальное число значений. В таблице 6 представлен пример фрагмента отношения этих свойств атрибутов.

- 4) в таблице атрибутов класса определяются: имя атрибута, идентификатор концепта, тип значения, мощность, значение (для каждого класса из словаря концептов с аналогичными характеристиками). Соответствующий пример приведён в таблице 7.

Таблица 4 – Фрагмент словаря концептов онтологии правового объекта

Имя концепта	Экземпляры	Атрибуты класса	Атрибуты экземпляра	Отношения
Суд	Конституционный суд, Гражданский суд, Верховный суд, Административный суд	-	количество членов, место, территориальная юрис- дикция	слушается
Предприятия	-	вид контроля	имя	-
Судебный процесс	-	-	-	имеет ответчика, имеет истца, заслушан
Лицо	-	-	-	ответчик, истец
Физическое лицо	-	-	возраст, дата рождения, дата смерти, первая фамилия, имя, национальность вторая фамилия	мать имеет мать отец имеет отца

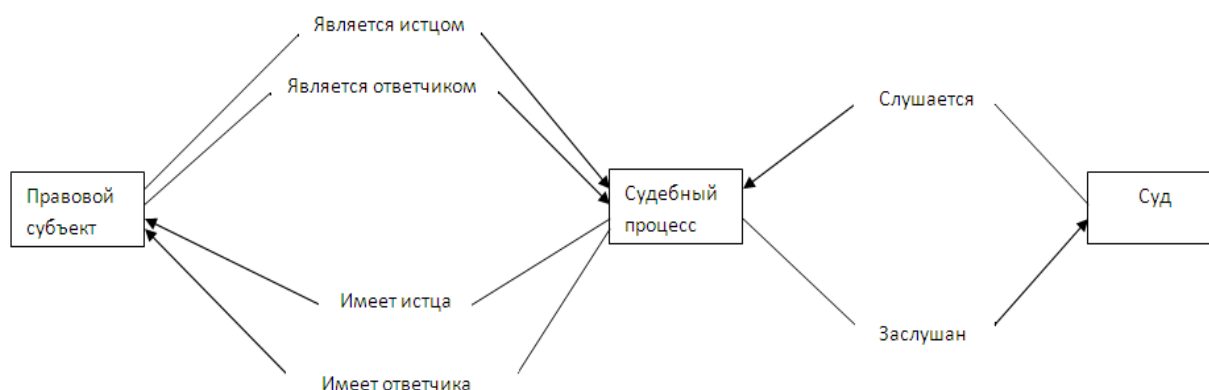


Рисунок 3 – Фрагмент диаграммы специальных бинарных отношений правового объекта

Таблица 5 – Фрагмент бинарного отношения онтологии правового объекта

Имя отношения	Исходный концепт	Исходное количество элементов	Целевой концепт	Обратное отношение
ответчик	Лицо	N	судебный процесс	имеет ответчика
истец	Лицо	N	судебный процесс	имеет истца
слушается	Суд	N	судебный процесс	заслушан
имеет ответчика	Судебный процесс	N	лицо	ответчик
имеет истца	Судебный процесс	N	лицо	истец
заслушан	Судебный процесс	N	суд	слушается

Таблица 6 – Пример фрагмента таблицы атрибутов экземпляра онтологии правового объекта

Имя атрибута экземпляра	Имя концепта	Тип значения	Диапазон значения	Мощность
количество членов	суд	целое	1 ..	(1,1)
место	суд	строка	-	(1,1)
территориальная юрисдикция	суд	строка	-	(1,1)

- 5) в *таблице логических аксиом* вводятся определения концептов через всегда истинные логические выражения. Пример такой аксиомы приведён в таблице 8. Определение каждой аксиомы включает: имя; ЕЯ-описание; концепт, к которому аксиома относится; атрибуты, используемые в аксиоме; логическое выражение, формально описывающее аксиому.
- 6) *таблица констант* включает для каждой константы: её имя, ЕЯ-описание, тип значения, само значение, единицу измерения, атрибуты, которые могут быть выведены с использованием данной константы. В таблице 9 приведён пример кортежа этого отношения.
- 7) в *таблице формул* для каждой формулы, включённой в таблицу атрибутов экземпляра (помимо собственно формулы), определяются её имя, атрибут, выводимый с помощью этой формулы, ЕЯ-описание, точность, ограничения, при которых возможно использовать формулу. Соответствующий пример приведён в таблице 10.

Таблица 7 – Фрагмент таблицы атрибутов класса онтологии правового объекта

Имя атрибута класса	Определенный концепт	Тип значения	Мощность	Значение
вид контроля	Частное предприятие	[частное, акционерное]	(1,2)	частное
вид контроля	Акционерное предприятие	[частное, акционерное]	(1,2)	акционерное

Таблица 8 – Пример логической аксиомы онтологии судебного процесса

Имя аксиомы	Описание	Выражение	Ссылочные концепты	Ссылочные отношения	Переменные
Несовместимость истец-ответчик	Человек не может быть истцом и ответчиком в одном судебном процессе	не (существует (X,Y) (человек(X) и судебный процесс (Y) и [истец] (X,Y) и [ответчик] (X,Y)))	Человек Судебный процесс	истец ответчик	X Y

Таблица 9 – Пример кортежа таблицы констант онтологии правового объекта

Имя	Тип значения	Значение	Единица измерения
возраст совершеннолетия	количественное числительное	18	годы

Таблица 10 – Пример фрагмента таблицы формул

Имя формулы	Либеральное поведение
Выводимый атрибут	Варианты поведения
Формула	Варианты поведения = Разрешено $\cup$ Прямо не запрещено
Описание	«Разрешено всё то, что прямо не запрещено»: субъекту предоставляется возможность выбирать любой вариант поведения, кроме тех, что прямо и строго сформулированы в виде запретов
Основной атрибут экземпляра	Разрешено Прямо не запрещено
Основной атрибут класс	-
Константы	-
Точность	-
Ограничения	Варианты поведения, строго запрещенные законом

- 8) *деревья классификации атрибутов* графически показывают соответствующие атрибуты и константы, используемые для вывода значения корневого атрибута и формулы, применяемые для этого. Пример фрагмента представлен на рисунке 4. Фактически, эти деревья используются для проверки полноты: все атрибуты, представленные в формуле, должны иметь описания, и ни один из атрибутов не должен быть пропущен.

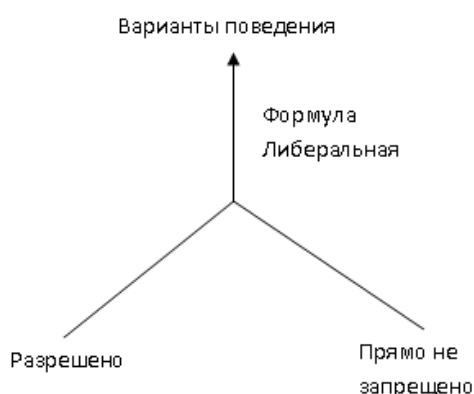


Рисунок 4 – Фрагмент дерева классификации атрибутов

9) в *таблице экземпляров* для каждого входа в словарь концептов специфицируются: имя экземпляра, имя концепта (соответствующего), его атрибуты и их значения. Фрагмент этого отношения представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Фрагмент таблицы экземпляров онтологии правового объекта

Имя экземпляра	Имя концепта	Атрибут	Значение
Гражданский суд	суд	место	Киев
		территориальная юрисдикция	Украина
Верховный суд	суд	территориальная юрисдикция	Украина
Конституционный суд	суд	количество членов	12
		территориальная юрисдикция	Украина

## Заключение

Направление онтологического инжиниринга является актуальной задачей, в рамках которой большой интерес представляет полученный вариант базовой онтологии для системы права. С нашей точки зрения, представленный здесь результат адаптации является базовым уровнем разработки соответствующей компьютерной технологии в правовой области.

Традиционно для анализа текстов используются методологии обработки документов с использованием знаний ключевых фраз. Каждая фраза может представлять множество значений, и много различных фраз могут иметь одинаковые значения. Предлагаемый метод анализирует грамматику предложения и строит онтологию документов. Затем отношения между документами сравниваются с вычислением уровней их сходства и различия. Представленная методология, с нашей точки зрения, более эффективна по сравнению с часто используемым подходом К-средних ключевых фраз.

Описан способ введения нечёткой логики непосредственно в онтологию для заданной ПрО. Предлагаемые решения позволяют представлять неточную информацию в системах и реализовать нечёткие рассуждения. Представлен метод, основанный на использовании модификаторов понятий для автоматического их обновления. Актуальность решения этих проблем для правовой области знаний не вызывает сомнений.

В настоящее время ведутся работы по расширению полученной русскоязычной версии правовой онтологии и использованию её для решения прикладных задач правовых систем, основанных на знаниях.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Соловьев, В.Д.* Онтологии и тезаурусы / В.Д. Соловьев, Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич – Казань: Казанский государственный университет, 2006. – 157 с.
- [2] *Noy, N.* Ontology Development 101 / N. Noy, D. McGuinness. – Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05. – 2001. – P. 217-228
- [3] IDEF5 Method Report. – Knowledge Based Systems, Inc. for Information Integration for Concurrent Engineering. – 1994.
- [4] *Fernandez-Lopez, M.,* Overview and Analysis of methodologies for building ontologies / M Fernandez-Lopez, A. Gumez-Parez // Knowledge Engineering Review (KER). - Vol. 17[2]. – 2002.
- [5] DILIGENT Ontology Engineering. – (<http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/cte/ontologyengineering/diligent.htm>).
- [6] NeOn Project. – (<http://www.neon-project.org>).
- [7] *Деринг, Ю.* Онтологии в правовой сфере. / Ю. Деринг, М. Хербергер // Проблемы правовой информатизации. – 2006. – № 2(12).
- [8] *Hou, J.L.* A document content extraction model using keyword correlation analysis / J.L. Hou, C.A. Chan // Electron. Bus. Manag. - 2003. - Vol. I. - No. I. - P. 54-62.
- [9] *Wu, Z.* Verb semantics and lexical selection / Z. Wu, M. Palmer // Proc. 12nd Anna. Meeting Assoc. Comput. Linguist (Las Cruces. NM. Jun. 27-30, 1994). - P. 133-138.
- [10] *Witten, I.H.* Adaptive text mining: Interring structure from sequences / I.H. Witten // Discret Algorithms. – 2004. - Vol. 2. - No. 2. Jun. - P. 137-159.
- [11] *Sanchez, S.N.* A feature mining based approach for the classification of text documents into disjoint classes. / S.N. Sanchez, E. Triantaphyllou, O. Kraft // Inf. Process. Manag. – 2002. - Vol. 38. - No. 4. Jul. - P. 283-604.
- [12] *Mamdani, E.H.* Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis / E.H. Mamdani // Proc. 6th Int. Symp. Multiple-Valued Logic. Logan. UT. 1976. - P. 196-202.
- [13] *Mamdani, E.H.* Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant. / E.H. Mamdani // Proc. Inst. Elect. Eng. – 1974. - Vol. 121. - No. 12. - P. 1585-1588.
- [14] *Асаки, К.* Прикладные нечёткие системы / К. Асаки, Д. Ватада, С. Иваи и др. // Под ред. Тэрано Т., Сугэно М. – М.: Мир, 1993. - 368 с.
- [15] *Заде, Л.А.* Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л.А. Заде // Математика сегодня: Сборник статей; пер. с англ. – М.: Знание, 1974. – С.5-49.
- [16] *Заде, Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. — М.: Мир, 1976. -165 с.
- [17] *Заде, Л.А.* Роль мягких вычислений и нечёткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/ интеллектуальных систем / Л.А. Заде // Новости Искусственного Интеллекта. 2001. - №2-3. - С. 7-11.
- [18] *Лихтарников, Л.М.* Математическая логика: Курс лекций. Задачник-практикум и решения / Л.М. Лихтарников, Т.Г. Сукачева.— СПб.: Лань, 1998.- 285 с.
- [19] *Новак, В.* Математические принципы нечёткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
- [20] *Орловский, С.А.* Проблемы принятия решений при нечёткой исходной информации / С.А. Орловский. — М.: Радио и связь, 1981. — 286 с.
- [21] *Штовба, С.Д.* Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику - <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>
- [22] LKIF Ontology. A core ontology of basic legal concepts. – <http://www.estrellaproject.org/lkif-core/>.

## ONTOLOGY DESIGN BASED ON THE TEXT CONTENT WITH FUZZY LOGIC FOR LEGAL DOMAIN

I.R. Valkman<sup>1</sup>, C.A. Hala<sup>2</sup>

*International Research and Training Center of Information Technologies and Systems NAS and MES of Ukraine, Kiev, Ukraine*

<sup>1</sup>[yur@valkman.kiev.ua](mailto:yur@valkman.kiev.ua), <sup>2</sup>[cecerongreat@ukr.net](mailto:cecerongreat@ukr.net)

## Abstract

The paper is dedicated to the problems of ontological engineering in the legal domain. Features of creation of legal ontology and problem of realization of this ontology are investigated. Systems, which provide an exchange of knowledge between existing legal systems, have to support the translation of the legal knowledge bases presented in various formats and forms. The formalization of representation of this knowledge has to provide compatibility within larger architecture for development of the legal knowledge systems. The method of introduction of fuzzy logic in legal ontologies is offered. Two opportunities by means of which the expert can add knowledge in ontology are described. Proposed solutions allow to describe inexact information in systems and to realize fuzzy reasoning.

**Key words:** *indistinct conclusion, fuzzy logic, ontology structure, text analysis, text content, representation of knowledge, ontology, Protégé, basic ontology, law.*

## References

- [1] *Solov'ev, V.D.* Ontologii i tezaury [Ontologies and thesauri] / V.D. Solov'ev, B.V. Dobrov, V.V. Ivanov, N.V. Lukashovich – Kazan: Kazan State University, 2006. – 157 p. (In Russian)
- [2] *Noy, N.* Ontology Development 101 / N. Noy, D. McGuinness. – Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05. - 2001. - P. 217-228
- [3] IDEF5 Method Report. – Knowledge Based Systems, Inc. for Information Integration for Concurrent Engineering. – 1994.
- [4] *Fernandez-Lypez, M.*, Overview and Analysis of methodologies for building ontologies / M Fernandez-Lypez, A. Gymeze-Parez // Knowledge Engineering Review (KER). - Vol. 17[2]. – 2002.
- [5] DILIGENT Ontology Engineering. – <http://www.aifbuni-karlsruhe.de/WBS/cte/ontologyengineering/diligent.htm>.
- [6] NeOn Project. – <http://www.neon-project.org>.
- [7] *Dering, Yu.* Ontologii v pravovoj sfere [Ontologies in the legal domain]/ Yu. Dering, M. Herberber // Problemy pravovoj informatizatsii [Problems of legal automation]. – 2006. – No. 2(12). (In Russian)
- [8] *Hou, J.L.* A document content extraction model using keyword correlation analysis / J.L. Hou, C.A. Chan // Electron. Bus. Manag. - 2003. - Vol. I. - No. I. - P. 54-62.
- [9] *Wu, Z.* Verb semantics and lexical selection / Z. Wu, M. Palmer // Proc. 12nd Anna. Meeting Assoc. Comput. Linguist (Las Cruces. NM. Jun. 27-30, 1994). - P. 133-138.
- [10] *Witten, I.H.* Adaptive text mining: Interring structure from sequences / I.H. Witten // Discret Algorithms. – 2004. - Vol. 2. - No. 2. Jun. - P. 137-159.
- [11] *Sanchez, S.N.* A feature mining based approach for the classification of text documents into disjoint classes. / S.N. Sanchez, E. Triantaphyllou, O. Kraft // Inf. Process. Manag. – 2002. - Vol. 38. - No. 4. Jul. - P. 283-604.
- [12] *Mamdani, E.H.* Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis / E.H. Mamdani // Proc. 6th Int. Symp. Multiple-Valued Logic. Logan. UT. 1976. - P. 196-202.
- [13] *Mamdani, E.H.* Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant. / E.H. Mamdani // Proc. Inst. Elect. Eng. – 1974. - Vol. 121. - No. 12. - P. 1585-1588.
- [14] *Asaki, K.* Prikladnye nechyotkie sistemy [Applied fuzzy systems]/ K. Asaki, D. Vatada, S. Ivai and others // under ed. of Tehrano T., Sugehno M. – Moscow: Mir, 1993. - 368 p. (in Russian)
- [15] *Zade, L.A.* Osnovy novogo podkhoda k analizu slozhnykh sistem i protsessov prinyatiya reshenij [Foundations for a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes] / L.A. Zade // Matematika segodnya: Sbornik statej; per. s angl. [Mathematics today, collection of articles, translated from English] – Moscow: Znanie, 1974. – pp.5-49. (In Russian)
- [16] *Zade, L.A.* Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenij [The concept of linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions] / L. Zade. — Moscow: Mir, 1976. -165 p. (In Russian)
- [17] *Zade, L.A.* Rol' myagkikh vychislenij i nechyotkoj logiki v ponimanii, konstruirovanii i razvitii informatsionnykh/intellektual'nykh sistem [The role of soft computing and fuzzy logic in understanding the design and development of information / intelligent systems]/ L.A. Zade // Novosti Iskusstvennogo Intellekta. 2001. – No. 2-3. - pp. 7-11. (In Russian)
- [18] *Likhtarnikov, L.M.* Matematicheskaya logika: Kurs lektzij. Zadachnik-praktikum i resheniya [Mathematical Logic: Lectures. Problem book and solutions]/ L.M. Likhtarnikov, T.G. Sukacheva. — Saint-Petersburg: Lan', 1998.- 285 p. (In Russian)
- [19] *Novak, V.* Matematicheskie printsipy nechyotkoj logiki [Mathematical principles of fuzzy logic] / V. Novak, I. Perfil'eva, I.Mochkorzh – Moscow: FIZMATLIT,2006. – 352 p. (In Russian)
- [20] *Orlovskij, S.A.* Problemy prinyatiya reshenij pri nechyotkoj iskhodnoj informatsii [Decision making with fuzzy initial information]/ S.A. Orlovskij. — Moscow: Radio I svyaz, 1981. — 286 p. (In Russian)

- [21] *Shtovba, S.D.* Vvedenie v teoriyu nechyotkikh mnozhestv i nechyotkuyu logiku [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic] - <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (In Russian)
- [22] LKIF Ontology. A core ontology of basic legal concepts. – <http://www.estrellaproject.org/lkif-core/>.

### Сведения об авторах



**Валькман Юрий Роландович**, 1948 г. рождения. Окончил Киевский национальный университет им. Т.Г. Шевченко в 1971 г., д.т.н. (1996). Заведующий отделом распределенных интеллектуальных систем Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, профессор кафедры математических методов системного анализа Института прикладного системного анализа Киевского политехнического института и кафедры математической информатики факультета кибернетики Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко, вице-председатель Совета Международной ассоциации

создателей и пользователей интеллектуальных систем, член Российской ассоциации искусственного интеллекта, член редколлегии журналов «Программные продукты и системы», «Онтология проектирования», «Информатика, вычислительная техника и инженерное образование», «Радиоэлектроника, информатика, управление». В списке научных трудов более 300 работ в области разработки компьютерных и интеллектуальных технологий и систем.

**Valkman Iuri Rolandovich** (b.1948) graduated from Kiev National University named after Taras Shevchenko in 1971, Dr. of science (1996). He is head of the department of distributed intelligent systems. at International Research and Training Center of Information Technologies and Systems NAS and MES of Ukraine. He is professor of the Department of Mathematical Methods of System Analysis at the Institute for Applied Systems Analysis Kiev Polytechnic Institute and professor of the Department of Mathematical Informatics Faculty of Cybernetics Taras Shevchenko National University of Kiev. He is vice-chairman of the board of Association of developers and users of intelligent systems, member of Russian association of artificial intelligence, member of the editorial board of such journals as «Program products and systems», «Ontology of designing», «Informatics, computing and engineering education», «Electronics, computer science, management». He is co-author of more then 300 scientific articles and abstracts in the field of computer and intelligent technologies and systems.



**Хала Екатерина Александровна**, 1988 г. рождения. Окончила Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» в 2011 г. Аспирантка Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН и МОН Украины. В списке научных трудов около 10 работ в области компьютерного моделирования сложных систем; систем, основанных на знаниях.

**Catherine Aleksandrovna Hala** (b.1988) graduated from the National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic institute" in 2011. She is Postgraduate Student at International Research and Training Center of Information Technologies and Systems NAS and MES of Ukraine. She is co-author of about 10 publications in the field of computer simulation of complex systems based on knowledge.



УДК 519.711.3

## **ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ФОРМАЛЬНОЙ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛОВ ЗНАНИЙ**

**Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина  
lgloba@its.kpi.ua*

### **Аннотация**

В работе представлен подход к проектированию расчётных задач на инженерных порталах знаний, основанный на формальной алгебраической системе, которая позволяет получить требуемый общий расчёт как результат выполнения системы алгебраических формализмов. Цель работы – повышение эффективности обработки, переработки, хранения и доступа к информационным и вычислительным ресурсам специализированных инженерных интернет-порталов знаний за счет систематизации слабосвязной сложноструктурированной разнородной информации путем построения формальной алгебраической системы порталов знаний. Основными задачами исследования являются: формализация знаний для представления контекстно-независимых структур, которые позволяют оперировать с информацией, представленной на порталах, в независимости от рассматриваемой предметной области; разработка математической модели порталов инженерных знаний; интеграция вычислительных ресурсов в информационную среду портала путем унификации и формализации элементов связности расчётных задач; разработка метода формирования сложных инженерных расчётов. Алгебра расчётов описывает последовательность выполнения частных расчётов, при этом формализмы алгебры расчётов портала знаний представляются множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала.

**Ключевые слова:** *портал знаний, алгебра расчётов, расчётная задача, инженерный портал, информационные элементы, функциональные элементы, операции.*

### **Введение**

В настоящее время наблюдается тенденция к систематизации и структуризации данных различных предметных областей (ПрО), результатом которой является создание различных информационных систем, систем автоматизации либо управления производственной деятельностью, а также, порталов знаний, либо порталов знаний предприятий (knowledge management portals). Основной задачей таких систем является реализация методов поиска и связности элементов этих систем, направленная на оптимизацию времени доступа к информационным ресурсам. Такая задача влечет за собой ряд проблем:

- построение концептуальной модели системы;
- разработка формальной логики, описывающей мета-структуру элементов системы;
- построение метода поиска по информационному пространству системы.

На сегодняшний день существует большое количество научных и исследовательских институтов, организаций, университетов, которые накапливают и хранят большие объемы технической и научной информации. Естественной потребностью для конечного пользователя является создание единой точки доступа к разнородным территориально-разнесенным информационным и вычислительным ресурсам. Важное требование в таком случае – возможность конечному пользователю получить именно необходимую ему информацию за достаточно короткое время, невзирая на место ее расположения. Среди множества средств, предоставляющих такой доступ, можно выделить электронные архивы, библиотеки, онлайн-системы, сайты и порталы. Наиболее эффективным средством из всех вышеперечисленных

являются порталы знаний, поскольку они позволяют не только получить доступ к информационным ресурсам, хранящимся в их базах, но и, используя данные, знания и сервисы, реализовать определённые вычислительные задачи ПрО.

## 1 Проблемы проектирования порталов знаний

Эффективность использования порталов знаний следует из удобства пользования информацией, сосредоточенной в их среде. Это означает с технической стороны, что портал знаний должен обеспечивать интеграцию и совместную работу сервисов, баз данных и знаний, информационных хранилищ и вычислительных ресурсов. Следовательно, основной проблемой при их проектировании является построение корректной концептуальной модели и модели представления знаний [1].

В зависимости от ПрО, которой посвящен портал, необходимо определить присутствие в его среде информационных и вычислительных ресурсов. Если проектирование направлено на построение порталов научных знаний, тогда разработка его концептуальной модели не составит труда, а в качестве модели представления знаний можно выбрать семантическую, либо онтологическую модель [2-5]. Если же результат проектирования – инженерный портал, то возникает ряд дополнительных проблем: определение механизма связывания информационных ресурсов с вычислительными, описание характеристик вычислительных и информационных ресурсов в зависимости от рассматриваемой ПрО, определение результата выполнения вычислительного ресурса, описание последовательности взаимодействия вычислительных ресурсов для реализации более глобальных вычислений. Из этих проблем следует необходимость решения следующих задач:

- построение логической модели портала;
- построение метода вывода в терминах логики портала;
- разработка технологии проектирования портала.

Таким образом, необходимо описать не только доступные пользователю на портале расчётные задачи, такие как сервисы вычислений, но и установить связи между конкретными сервисами (набором сервисов) для реализации конкретных рабочих процессов расчётных задач в рамках общих рабочих процессов портала, а также установить связи сервисов с информационными ресурсами, что необходимо для решения конкретных производственных задач пользователя [6].

В зависимости от параметров, заданных пользователем и тематикой расчётной задачи, она может быть выполнена с помощью различных алгоритмов. При построении реальных научных и инженерных задач используется их декомпозиция на подзадачи, которые в зависимости от направления общей задачи и параметров, которые используются при расчёте, могут компоноваться в общий расчёт динамически, причем одна из подзадач может использоваться в нескольких расчётах. Исходя из всего вышесказанного, возникает задача разработать и описать алгебру связности расчётных задач.

## 2 Особенности предметной области

Как уже было сказано, важное место в построении портала знаний занимает интеграция расчётных задач, которые являются предметно-ориентированными и занимают важное место при проведении различного рода исследований в конкретных ПрО. Существует необходимость осуществить корректное внедрение этих задач в информационную среду портала [7].

В среде портала знаний можно выделить два типа элементов: информационные и функциональные элементы. К информационным элементам  $E_i$  относятся статические элементы,

которые не несут никакой функциональной нагрузки, сами по себе не являются процессом и не включают последовательность работ внутри себя. Подход к анализу информационных элементов должен учитывать необходимость их описания и классификации. Функциональные элементы  $E_{\phi}$  являются динамически изменяемыми элементами и содержат последовательность действий внутри себя. При анализе  $E_{\phi}$  их необходимо рассматривать не просто как объект, а как комплекс последовательности работ, которые выполняются в рамках каждого такого объекта. К таким элементам относятся расчётные задачи портала знаний, бизнес-процессы, исполняемые на портале и другие активные вычислительные компоненты.

Каждый расчёт в инженерной ПрО состоит из множества подрасчётов. Результатом выполнения полного расчёта является полная характеристика исследуемого объекта и вывод о возможности его использования при проектировании конкретной детали, как одной из составных частей сложной конструкции. Полный расчёт обязательно состоит из двух расчётов: выбор основных параметров и поверочный расчёт, которые, в свою очередь, состоят из нескольких групп расчётов. На этапе выбора основных параметров рассчитываются значения основных характеристик и параметров конструкции, а на этапе поверочного расчёта - проверяется, соответствуют ли определенные характеристики исследуемого объекта требованиям к соответствующим характеристикам конструкции.

Таким образом, расчёты, которые входят в группу расчёта основных параметров, направлены, в основном, на вычисление по заданным заранее общим правилам или формулам. Однако основной особенностью инженерных ПрО и основным отличием их расчётов от расчётных задач любой другой ПрО является то, что под каждым конкретным подрасчётом группы поверочного расчёта понимается набор условий, которым должен соответствовать проверяемый объект исследования. Такой набор условий установлен для того, чтобы можно было определить возможность использования такого объекта для создания конструкции.

Из вышесказанного следует ряд специфических задач, связанных с разработкой расчётных задач инженерного портала. *Во-первых*, необходимо учесть логику связывания подрасчётов в общие расчёты, поскольку нет необходимости хранить одинаковые шаблоны для одних и тех же подрасчётов, которые могут использоваться в разных общих расчётах. *Во-вторых*, необходимо выделить специфические объекты ПрО, которые станут базовыми элементами связности расчётов, а также выделить на уровне логики основные операции, используемые в расчётных задачах портала. *В-третьих*, нужно разработать метаописания, характеризующие расчётные задачи инженерных порталов знаний.

Множество метаописаний функциональных элементов портала знаний предложено разбить на три подмножества:

- *стандартные метаописания*, которые строятся согласно стандарту дублинского ядра и описывают основные характеристики функциональных элементов;
- *специфические метаописания* – метаописания, связанные с конкретной ПрО;
- *метаописания, устанавливающие связь*, – используются для определения связи элемента с другими элементами, информационными ресурсами, расчётными задачами (функциональными элементами).

Выделим следующие метаописания, описывающие различные характеристики расчётных задач.

*Стандартные метаописания*

$$A_{st} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\};$$

*Title* (название, имя ресурса) –  $A_1$  (атрибут)

Название атрибута	Описание атрибута
Title	Имя, данное ресурсу. Данный элемент, как правило, содержит формальное имя, под которым данный ресурс известен.

*Identifier* (идентификатор) –  $A_2$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Identifier	Уникальный идентификатор, рассматривается также как номер функционального элемента

*Adress* (адрес) –  $A_3$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Adress	Ссылка на место расположения ресурса

*Subject* (ПрО) –  $A_3$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Subject	Узкая ПрО применения данного функционального элемента

*Description* (описание) –  $A_4$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Description	Текстовое описание функционального элемента

*Data* (данные) –  $A_5$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Data	Тип данных, которые содержит функциональный элемент

*Специфические для ПрО метаописания  
(на примере портала «Прочность материалов»)*

$$A_{st} = \{A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}\}:$$

*Parameters* (параметры) –  $A_6$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Parameter	Параметры, которые употребляются при расчёте

*Loading* (нагрузки) –  $A_7$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Loading	Нагрузки, о которых упоминается в расчёте

*Methods* (методы) –  $A_8$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Methods	Методы расчётов, которые встречаются в расчёте

*Element* (элемент) –  $A_9$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Element	Элемент, связанный с расчётом или для которого проводится расчёт

*Measurement area* (площади измерений) –  $A_{10}$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Measurement area	Площади конструкций, для которых актуальны приводимые в расчёте формулы, либо для которых проводится расчёт, либо которые встречаются в расчёте

*Метаописания, устанавливающие связь*

$$A_{st} = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}\}:$$

*Regulatory* (нормативный документ, в котором описан расчёт) –  $A_{11}$ 

Название атрибута	Описание атрибута
Regulatory	Название нормативного документа (ГОСТ, ISO, Нормы расчёта), который связан с функциональным элементом

*Computation* (ссылочный расчёт) – A<sub>12</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
Computation	Расчёт (функциональный элемент), с которым связан данный расчёт

*General computation* (общий расчёт) – A<sub>13</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
General computation	Общий функциональный элемент (если возможно его идентифицировать)

*Material* (материал) – A<sub>14</sub>

Название атрибута	Описание атрибута
Material	Материал, который встречается в расчёте

### 3 Формальная алгебраическая система порталов знаний

Приведем алгебру расчётов, которая позволяет получить требуемый общий расчёт в результате выполнения определенной системы алгебраических формализмов, позволяющей задать последовательность выполнения частных расчётов. Алгебра формализмов для расчётов портала знаний представляется множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала [8, 9].

Пусть на множестве  $E_\phi$  и  $E_i$  портала определены:

- некоторое непустое множество  $A$ , частично определенная функция  $y = F(x_1, \dots, x_n)$ ,  $(y, x_1, \dots, x_n) \in A$ , которая является  $n$ -арной частичной операцией на  $A$ ;
- система  $U_A = \langle A, \Omega \rangle$ , состоящая из основного множества  $A$  и определенной на нем совокупности частичных операций  $\Omega = \{F^{ns}_s\}$  ( $s = 1, 2, \dots$ ), которая является частичной универсальной алгеброй с сигнатурой  $\Omega$ ;
- две однотипные универсальные алгебры  $U_A = \langle A, \Omega \rangle$  и  $U_B = \langle B, \Omega' \rangle$  с основными множествами  $A$  и  $B$ . Универсальные алгебры  $U_A$  и  $U_B$ , в которых заданы соответственно сигнатуры  $\Omega$  и  $\Omega'$ , являются однотипными, если можно установить такое взаимно-однозначное соответствие между сигнатурами  $\Omega$  и  $\Omega'$ , при котором любая операция  $\omega \in \Omega$  и соответствующая ей операция  $\omega' \in \Omega'$  будут  $n$ -арными с одним и тем же  $n$ ;
- гомоморфные и изоморфные отображения по определениям:
  - если для любых элементов  $a_1, \dots, a_n$  и произвольной  $n$ -арной операции  $F \in \Omega$  выполняется соотношение  $\psi(F(a_1, \dots, a_n)) = F(\varphi(a_1), \dots, \varphi(a_n))$ , где  $\varphi(a_i) = b_i$  и  $b_i \in B$  ( $i=1, \dots, n$ ), то отображение  $\varphi: A \rightarrow B$  является гомоморфным отображением алгебры  $U_A$  в алгебру  $U_B$ ;
  - если между основными множествами  $A$  и  $B$  устанавливается взаимно-однозначное соответствие, то отображение  $\varphi$  называется изоморфным отображением, а алгебры  $U_A$  и  $U_B$  называются изоморфными;
  - если  $\pi(x_1, \dots, x_n)$ ,  $x_1, \dots, x_n \in A$   $n$ -местный предикат  $\Pi = \{\pi^{ns}_s\}$ , где ( $s = 1, 2, \dots$ ) сигнатура предикатов, то система  $U_A = \langle A; \Omega; \Pi \rangle$  называется универсальной алгебраической системой. Между алгебраическими системами также можно устанавливать гомоморфные и изоморфные отображения;
- многоосновная алгебра, как система  $U_M = \langle M; \Omega \rangle$ , состоящая из семейства основных множеств  $M = \{A_\alpha\}$  ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ) и сигнатуры  $\Omega$  операций, определенных на семействе  $M$  так, что каждая  $n$ -арная операция из  $\Omega$  является отображением декартова произведения  $n$  множеств из семейства  $M$  в множество из того же семейства  $A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow A_\alpha$ ;
- многоосновная алгебраическая система, как система  $U_M = \langle M; \Omega; \Pi \rangle$ , где  $\Pi$  — сигнатура  $n$ -местных предикатов  $\pi: A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow \{0, 1\}$ ;

- поле, как пара  $P = \langle Num_i, A_i \rangle$  ( $i = 1, \dots, p$ ), где  $Num_i$  — номер, а  $A_i$  — множество значений поля;
- кортежи  $K = \{P_1, \dots, P_p\}$ , которые являются множествами типа  $K$ .

Для возможности совместного использования различных расчётных задач, представленных на портале и связанных с ними информационных ресурсов, упрощения процесса связывания расчётов в общий расчёт, рассмотрим элементы алгебры расчётов. Алгебра расчётов представляется формализмами, описывающими каждый расчёт ПрО, и состоит из определения расчётов, операций над расчётами, соответствующих аксиом и теорем, позволяющих описать процесс обслуживания расчётов информационными ресурсами.

Пусть метаописание расчётных задач портала задается как  $A = \langle N, M \rangle$ , где  $N = \{N_1 N_2, \dots, N_n\}$  — множество имен атрибутов,  $M = \{M_1 M, \dots, M_n\}$  — множества значений атрибутов и, таким образом,  $m_i^j$  —  $j$  значение из  $i$ -ого множества значений атрибутов. Под набором расчётов, которые входят в общий расчёт, будем понимать отношение на множестве значений некоторого подмножества атрибутов расчёта. Тогда схему отношений  $R_k$  можно записать в виде  $R_k = (R_1, R_2, \dots, R_n)$ , где множество можно разделить на отношения, заданные на трех выделенных множествах расчётов в зависимости от выделенных типов метаописаний [10].

Условие расчёта представляет собой любую логическую формулу, в которой:

- переменные — имена атрибутов  $N_1 N_2, \dots, N_n$ ;
- константы — элементы соответствующих множеств  $M_1 M, \dots, M_n$ ;
- предикатные символы — символы отношений  $\langle \rangle \leq \geq = \neq$ ;
- символы логических связок — символы логических операций  $\wedge, \vee, -$ .

Расчётом  $C_k$  назовем систему  $\langle R_k A_k \rangle$ , где  $R_k$  — отношение со схемой  $R_k = (R_1, R_2, \dots, R_n)$ ,  $A_k$  — логическая формула условия.

Опишем правила формирования расчёта.

**Аксиома 1.** В набор расчётов для формирования общего расчёта могут входить те, и только те расчёты, атрибуты которых удовлетворяют заданному условию:

$$C_t = \{C_1, C_2, \dots, C_n \in C_t \mid \forall d_i \in A_i(M_i), \forall d_j \in A_j(M_j) : d_i = d_j\}.$$

Выполнение условий связано с истинным значением логической формулы, определяющей заданное условие, при подстановке в нее значений метаописаний из множества расчётов, т.е. условие для расчёта играет роль семантической связки или проверки, которая позволяет добавить в общий расчёт только те расчёты, для которых это условие истинно.

Также, в алгебре расчётов можно выделить два типа расчётов:

- пустой расчёт —  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$  в котором условие  $A_k$  принимает ложное значение.
- полный расчёт —  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$  в котором условие  $A_k$  является конъюнкцией всех возможных условий базы.

**Аксиома 2.** Произвольный расчёт портала знаний, заданный по схеме  $R_k$  — это расчёт типа  $C_k = \langle R_k A_k \rangle$ .

Множество условий  $A_k$  представим как совокупность подмножеств условий —  $P_k$  и формул, которыми эти условия задаются —  $Q_k$ .

Условие формируется по сложному правилу, особенно когда оно играет роль механизма выбора для включения расчёта в общий расчёт.

**Аксиома 3.** Логическая формула условия и операнд условия:

- если  $A$  — имя метаописания, то  $A$  — операнд условия;
- если  $A$  — значение метаописания, то  $A$  — операнд условия;
- если  $A$  и  $B$  — операнды условия, то каждое из выражений  $(A+B)$ ,  $(A-B)$ ,  $(A*B)$ ,  $(A:B)$ ,  $(-A)$  — операнды условий;
- операнд не может быть получен никак, кроме описанных выше способов.

В результате сказанного, условие  $P_k$  можно определить следующим образом:

- Т-условие  $P_k$ ;
- если  $A$  и  $B$  – операнды условия  $P_k$ , то  $A \Omega B$ , где  $\Omega = \{>, <, \leq, \geq, =, \neq\}$  – условие  $P_k$ ;
- если  $A$  и  $B$  – условия  $P_k$ , то  $(A+B)$ ,  $(A-B)$ ,  $(A*B)$ ,  $(A:B)$ ,  $(-A)$  – условия  $P_k$ .

Рассмотрим выполнение логического правила «для того, чтобы объединить расчёты в один общий, необходимо выполнение одного из следующих условий»:

- все рассматриваемые расчёты объединяются в общий расчёт;
- некоторые из рассматриваемых расчётов (множеств расчётов) не объединяются в общий расчёт, остальные объединяются;
- в общий расчёт или объединяется одно множество расчётов, а другое нет, или же наоборот;
- других условий не существует.

Таким образом, условия выполнения расчётов определяются операциями алгебры логики:  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $-$ .

Необходимо доказать возможность применения теории алгебры логики для формирования условий инженерных расчётов на базе описанных выше операций [11, 12].

Выделим следующие базовые элементы алгебры расчётов:

**Объекты.** Объектами являются основные элементы алгебры, над которыми проводятся все операции алгебры. В алгебре расчётов под множеством объектов понимается множество фактических расчётов.

**Операции.** В алгебре расчётов выделяют два множества операций - простые и сложные:

#### И. Простые операции

И.И. Элементарные операции:

- + - сложение;
- \* - умножение.

И.ИИ. Множественные операции:

- $\subseteq$  - нестрогое включение;
- $\subset$  - строгое включение;
- $\not\subset$  - отрицание включения;
- $\in$  - принадлежность;
- $\notin$  - не принадлежность.

И.ИИИ. Логические операции. В множестве логических операций алгебры расчётов выделяют подмножество унарных операций и подмножество  $n$ -арных операций:

*Унарные операции:*

- $d$  – дополнение;
- $-1$  – инверсия.

*$n$ -арные операции:*

- $\vee$  – дизъюнкция;
- $\wedge$  – конъюнкция;
- $\setminus$  – разность;
- $\sim$  – эквивалентность;
- $\circ$  – композиция.

#### ИИ. Сложные операции

Операция последовательного соединения.

Операция параллельного соединения.

Операция логического соединения.

Операция инверсии.

**Данные.** Элементы, которые подаются на вход системы, а также элементы, полученные на выходе конкретных расчётов; например, для алгебры расчётов данными могут быть различные константы, переменные, результаты операций над ними. На физическом уровне данные представлены значениями различных параметров и характеристик ПрО, формулами, границами значений, а также непосредственно частичными расчётами, которые могут поступать как входные данные на вход общих расчётов [13].

## 4 Операции алгебры расчётов

### 4.1 Простые операции

Рассмотрим три вида простых операций алгебры расчётов: элементарные, множественные и логические операции.

*Элементарные операции* являются представлением обычных алгебраических операций согласно их определению: сложение  $+$  – обозначает процесс суммирования значений элементов схем отношений или метаописаний; умножение  $*$  – обозначает процесс произведения значений элементов схем отношений или метаописаний.

*Множественные операции:*

- $\sqsubseteq$  – нестрогое включение. **Определение 1.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – включает расчёт  $C_1$  ( $C_3 \sqsubseteq C_1$ ), если  $C_3$  содержит все кортежи из  $C_1$ . Говорят, что расчёт  $C_1$  является подрасчётом расчёта  $C_3$ , если каждый кортеж из  $C_1$  есть кортеж в  $C_3$ , то есть если  $x_i \in C_1$ , то  $x_i \in C_3$ ;
- $\subset$  – строгое включение. **Определение 2.** Если необходимо подчеркнуть, что расчёт  $C_3$  содержит также другие кортежи, кроме кортежей из  $C_1$ , то используется операция строгого включения:  $C_3 \subset C_1$ ;
- $\not\subset$  – отрицание включения. **Определение 3.** Если  $C_1$  не является подрасчётом  $C_3$ , то  $C_1 \not\subset C_3$  обозначает, что существует кортеж расчёта  $C_1$ , который не принадлежит  $C_3$ ;
- $\in$  – принадлежность. Отношение принадлежности  $\in$  задает принадлежность кортежа  $x_i$  расчёту  $C_3$ :  $x_i \in C_3$ . Определим, что отношение включения обладает свойством транзитивности, а отношение принадлежности – нет;
- $\notin$  – непринадлежность. **Определение 4.** Операция непринадлежности является обратной к операции принадлежности, и обозначает, что кортеж  $x_i$  не присутствует в расчёте  $C_3$ :  $x_i \notin C_3$ .

*Логические операции* – это аналоги теоретико-множественных операций алгебры отношений.

**Определение 5.** Пусть даны расчёты  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$ , где  $R_1 = R_2$ . Тогда:

- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – объединение расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \cup C_2$ ), если  $C_3$  содержит все кортежи из  $C_1$  и все кортежи из  $C_2$ , которые не совпадают ни с одним кортежем из  $C_1$ , причём  $C_3$  не содержит никаких других кортежей;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – пересечение расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \cap C_2$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые содержатся и в  $C_1$  и  $C_2$ , причём  $C_3$  не содержит никаких других кортежей;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – разность расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \setminus C_2$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые являются кортежами  $C_1$  и не содержат не одного кортежа из  $C_2$ , причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется композицией расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \circ C_2$ ), если существует расчёт  $C_4$ , такой, который содержит некоторые кортежи из  $C_1$  и  $C_2$ , тогда расчёт



$C_3$  содержит те и только те кортежи из  $C_1$ , которые есть в  $C_4$  и те кортежи из  $C_2$ , которые содержатся в  $C_4$ , причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;

- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется эквивалентным расчёту  $C_1$  ( $C_3 \sim C_1$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые являются кортежами  $C_1$ , и количество кортежей в  $C_1$  и  $C_3$ , совпадает, причём  $C_3$  не содержит ни одного другого кортежа;
- расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называться дополнением расчёта  $C_1$ , ( $C_3 = C_1^d$ ) к расчёту  $C_1^V$ , который содержит все кортежи схемы  $R_1$  системы, если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые принадлежат  $C_1^V$  и не принадлежат  $C_1$ . Операция дополнения является унарной операцией.

Необходимо доказать возможность использования теории алгебры логики для формирования условий инженерных расчётов на базе приведенных выше простых операций.

**Теорема 1.** Пусть  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда и только тогда является объединением  $C_1 \cup C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \vee A_2$ .

*Доказательство.* Построим логическую таблицу действий над кортежами расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , по определению операции объединения. Таблица 1 строится для всех кортежей отношения, заданных схемой  $R_1 = R_2$ . Принцип заполнения логической таблицы основан на определении условия расчёта и определении соответствующей операции над расчётом.

Таблица 1 – Логическая таблица истинности для операции объединения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	истина
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

Рассмотрим принцип формирования первой строки таблицы 1. Поскольку кортеж содержится и в расчёте  $C_1$  и в расчёте  $C_2$  по определению, то условия расчёта и условия для этого кортежа расчётов  $C_1$  и  $C_2$  примут соответственно истинные значения. По определению операции объединения расчётов, такой кортеж должен быть включен в расчёт  $C_3$ , что соответствует истинному значению условия  $C_3$ . Аналогично получены остальные строки таблицы. Сопоставляя условия расчётов  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  для всех возможных значений кортежей, можно сделать вывод, что условие  $A_3$  определяется таблицей истинности, совпадающей для таблицы истинности, определяющей операцию «или» в алгебре логик.

**Теорема 2.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_4 A_4 \rangle$  тогда, и только тогда является пересечением  $C_1 \cap C_2$ , расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \wedge A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции пересечения (таблица 2).

Таблица 2 – Логическая таблица истинности для операции пересечения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	ложь
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

**Теорема 3.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет разностью  $C_1 \setminus C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , то есть  $C_3 = C_1 \setminus C_2$ , когда  $A_3 = A_1 \wedge \neg A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции разности (таблица 3).

Таблица 3 – Логическая таблица истинности для операции вычитания расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	ложь
Только в $C_1$	истина	ложь	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь

**Теорема 4.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$ ,  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  и  $C_4 = \langle R_4 A_4 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет композицией  $C_1 \circ C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , то есть  $C_3 = C_1 \circ C_2$ , когда  $A_4 \subset A_1$ ,  $A_4 \subset A_2$ , и  $A_3 \subset A_1 \wedge A_2$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции композиции (таблица 4).

**Теорема 5.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  – расчёт. Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда будет эквивалентным  $C_3 \sim C_1$  расчёту  $C_1$ , когда  $A_3 = A_1$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции эквивалентности (таблица 5).

**Теорема 6.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_1^\forall = \langle R_1, \forall \rangle$ , где  $C_1^\forall$  включает все элементы  $R_1$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$ , является дополнением  $C_3 = C_1^d$  расчёта  $C_1$  к расчёту  $C_1^\forall$  тогда, и только тогда, когда  $A_3 = \neg A_1$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции дополнения (таблица 6).

Таблица 4 – Логическая таблица истинности для операции композиции расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта			
	$C_1$	$C_2$	$C_4$	$C_3$
В $C_1$ и $C_2$ и $C_4$	истина	истина	истина	истина
В $C_1$ и $C_2$	истина	истина	ложь	ложь
Только в $C_1$ и $C_4$	истина	ложь	истина	истина
Только в $C_1$	истина	ложь	ложь	ложь
Только в $C_2$ и $C_4$	ложь	истина	истина	истина
Только в $C_2$	ложь	истина	ложь	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$ , ни в $C_4$	ложь	ложь	ложь	ложь
Ни в $C_1$ , ни в $C_2$	ложь	ложь	ложь	ложь

Таблица 5 – Логическая таблица истинности для операции эквивалентности расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта	
	$C_1$	$C_3$
В $C_1$	истина	истина
Не в $C_1$	ложь	ложь

Таблица 6 – Логическая таблица истинности для операции дополнения расчётов

Наличие в расчёте	Условие расчёта	
	$C_1$	$C_3$
В $C_1$	истина	истина
Не в $C_1$	ложь	ложь

#### 4.2 Сложные операции алгебры расчётов

Множество сложных операций алгебры расчётов состоит из операций: последовательного соединения, параллельного соединения, логического объединения, инверсии и совмещения. Рассмотрим каждую из операций.

*Операция параллельного соединения* -  $Z_{пр}$ , это операция, которая описывает процесс связывания расчётов в общий расчёт с помощью определенной выше простой операции, а именно операции дизъюнкции -  $\vee$ . Обобщенная схема операции представлена на рисунке 1.

На рисунке 1а показывается объединение расчётов при параллельном соединении с помощью оператора  $\vee$ , что позволяет реализовать логическое «или» при рассмотрении маршрута параллельного соединения расчётов. Рисунок 1б условно обозначает параллельное соединение множества последовательно соединенных расчётов. Таким образом, необходимо определить, как объединить расчёты сначала последовательно, потом параллельно. Предлагается для операции параллельного соединения конечного множества расчётов использовать как оператор дизъюнктивную нормальную форму  $(x_i \wedge x_j) \vee (\dots) \vee (x_k \wedge x_p)$ , где каждая элементарная конъюнкция представляет собой объединение расчётов в каждой ветке, а сама дизъюнктивная нормальная форма – форму операции параллельного соединения расчётов.

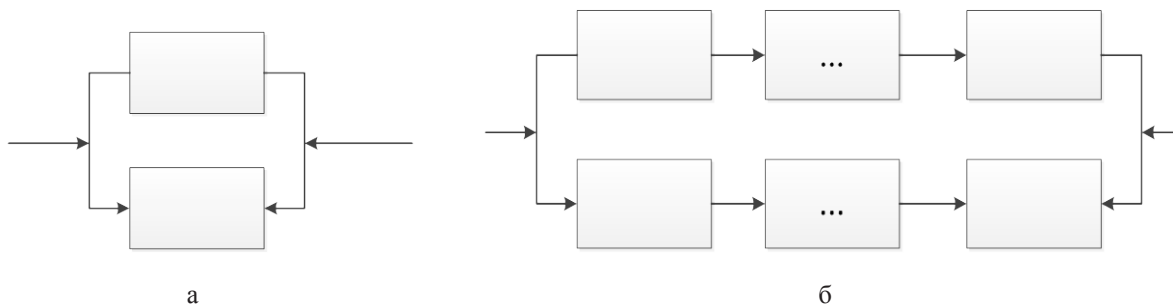


Рисунок 1 – Схема операции параллельного соединения расчётов

**Определение 6.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  – является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 Z_{пр} C_2$ ); если  $x_i \in C_1$  и  $x_j \in C_2$ , то  $C_3$  определяется как  $(x_i \vee x_j)$ .

**Теорема 7.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_3$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда является результатом параллельного соединения  $C_3 = C_1 Z_{пр} C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $x_k = (x_i \vee x_j)$ .

**Определение 7.** Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  – является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ( $C_p = Z_{пр}(C_1, C_2, \dots, C_n)$ ), если  $x_i \in C_1, x_j \in C_2, \dots, x_m \in C_n$ , то  $C_p$  определяется как  $\vee(x_i \wedge x_j \wedge \dots \wedge x_m)$ .

**Теорема 8.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle, C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle, \dots, C_n = \langle R_n A_n \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2, \dots$ , кортеж  $x_m$

такой, что  $x_m \in C_n$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_p$ . Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  тогда, и только тогда будет результатом операции параллельного соединения  $C_p = \mathcal{Z}_{\text{пр}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$  расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , когда  $x_k = \bigvee (x_i \wedge x_j \wedge \dots \wedge x_m)$ .

Операция последовательного соединения -  $\mathcal{Z}_{\text{пс}}$ , описывает процесс связывания расчётов в общий с помощью определенной выше простой операции конъюнкции -  $\wedge$ . Обобщенная схема операции представлена на рисунке 2.

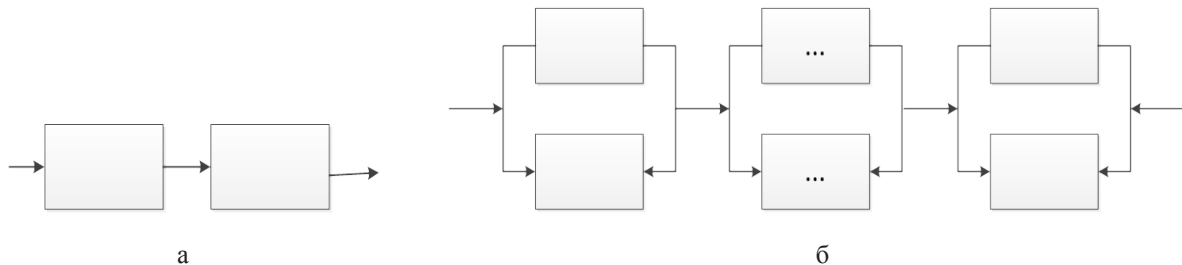


Рисунок 2 – Схема последовательного соединения расчётов

На рисунке 2а показывается объединение расчётов при последовательном соединении с помощью оператора  $\wedge$ , что позволяет реализовать логическое «и» при рассмотрении маршрута последовательного соединения расчётов. Рисунок 2б условно обозначает последовательное соединение конечного множества расчётов. Таким образом, необходимо определить, каким образом соединить расчёты сначала параллельно, а затем последовательно. Предлагается для операции последовательного соединения конечного множества параллельно соединённых расчётов использовать конъюнктивную нормальную форму  $(x_i \vee x_j) \wedge (\dots) \wedge (x_k \vee x_p)$ , где каждая элементарная дизъюнкция представляет объединения расчётов в каждый параллельный блок, а сама конъюнктивная нормальная форма – форму операции последовательного соединения расчётов.

**Определение 8.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  является результатом операции параллельного соединения расчётов  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_3 = C_1 \mathcal{Z}_{\text{пс}} C_2$ ); если  $x_i \in C_1$  и  $x_j \in C_2$ , то  $C_3$  вычисляется как  $(x_i \wedge x_j)$ .

**Теорема 9.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  и  $C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_3$ . Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  тогда, и только тогда является результатом операции последовательного соединения  $C_3 = C_1 \mathcal{Z}_{\text{пс}} C_2$  расчётов  $C_1$  и  $C_2$ , когда  $x_k = (x_i \wedge x_j)$ .

**Определение 9.** Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  – является результатом операции последовательного соединения расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$  ( $C_p = \mathcal{Z}_{\text{пс}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$ ), если  $x_i \in C_1, x_j \in C_2, \dots, x_m \in C_n$ , то  $C_p$  вычисляется как  $\wedge(x_i \vee x_j \vee \dots \vee x_m)$ .

**Теорема 10.** Предположим  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle, C_2 = \langle R_2 A_2 \rangle, \dots, C_n = \langle R_n A_n \rangle$  – расчёты и  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ . Кортеж  $x_i$  такой, что  $x_i \in C_1$ , кортеж  $x_j$  такой, что  $x_j \in C_2, \dots$ , кортеж  $x_m$  такой, что  $x_m \in C_n$ , кортеж  $x_k$  такой, что  $x_k \in C_p$ . Расчёт  $C_p = \langle R_p A_p \rangle$  тогда, и только тогда является результатом операции последовательного соединения  $C_p = \mathcal{Z}_{\text{пс}}(C_1, C_2, \dots, C_n)$  расчётов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , когда  $x_k = \wedge(x_i \vee x_j \vee \dots \vee x_m)$ .

Операция логического соединения –  $O_{\text{п}}$  позволяет соединять расчёты, связь между которыми задана через промежуточный расчёт (рисунок 3).

Операция логического объединения позволяет объединить два расчёта при известной логической связи этих расчётов с третьим, операция  $O_{\text{п}}$  базируется на простой операции композиции (теорема 4).

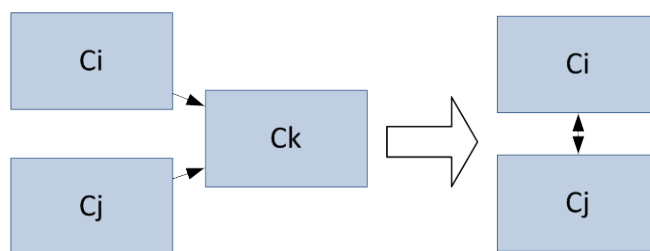


Рисунок 3 – Схематическое изображение операции логического объединения расчетов

Операция инверсии –  $O_i$  обеспечивает замену порядка расчётов на противоположный при соединении частичных расчётов в общий. Операция инверсии основывается на операторе инверсии –  $i^{-1}$  (рисунок 4).

Схема, представленная на рисунке 4а, условно обозначает последовательность частичных расчётов, которые можно менять местами при соединении в общий расчёт. Схема, представленная на рисунке 4б, условно обозначает последовательность частичных расчётов, которые при соединении в общий расчёт имеют только однонаправленную связь.

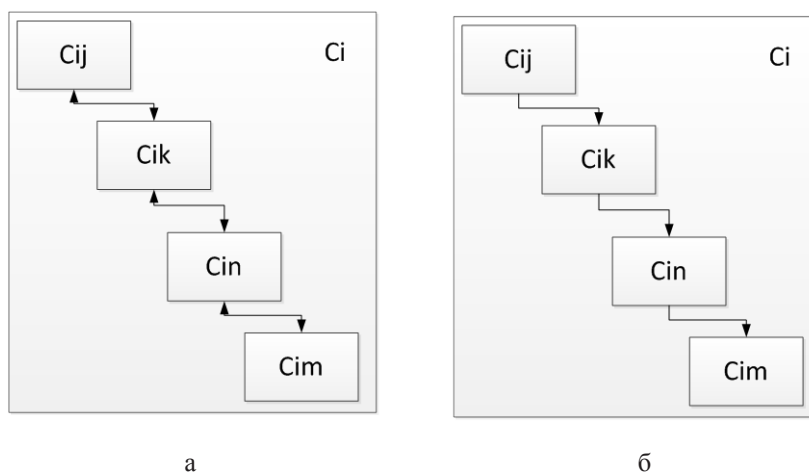


Рисунок 4 – Схематическое изображение операции инверсии расчетов

Таким образом, последовательность расчётов можно изменять только в том случае, когда данные не передаются из одного расчёта в другой или, равно, входные данные предыдущего расчёта не являются входными данными для следующего расчёта.

**Определение 10.** Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  называется инверсией расчёта  $C_1$ , ( $C_3 = C_1^{-1}$ ), если  $C_3$  содержит те, и только те кортежи, которые содержатся в  $C_1$  в обратном порядке.

**Теорема 11.** Предположим, что  $C_1 = \langle R_1 A_1 \rangle$  – расчёт. Расчёт  $C_3 = \langle R_3 A_3 \rangle$  является инверсией расчёта  $C_1$ :  $C_3 = C_1^{-1}$ , если  $A_1(x_i, x_j) = A_3(x_j, x_i)$ .

*Доказательство.* Доказательство проводится аналогично доказательству теоремы 1 по логической таблице истинности условий расчёта для операции (таблица 7).

Таблица 7 – Логическая таблица истинности для операции инверсии расчетов

Наличие в расчёте	Условие расчёта		Наличие в расчёте
	$C_1$	$C_3$	
В $C_1$ (для $x_i, x_j$ )	истина	истина	В $C_3$ (для $x_j, x_i$ )
Не в $C_1$ (для $x_i, x_j$ )	ложь	ложь	В $C_3$ (для $x_j, x_i$ )

Операция совмещения –  $O_c$  позволяет соединять расчёты, связи между которыми в явном виде не существует, учитывая некоторые параметры (рисунок 5).

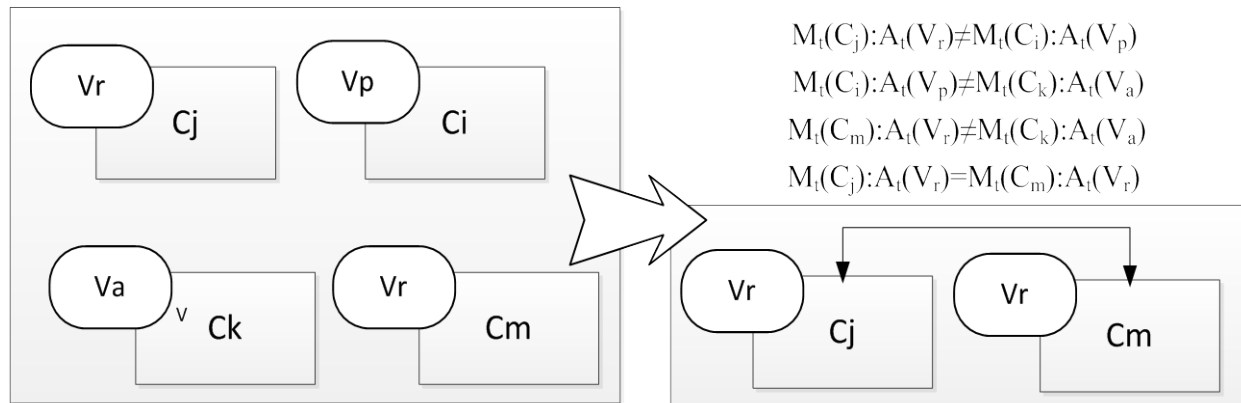


Рисунок 5 – Схематическое изображение операции совмещения расчётов

Операция совмещения позволяет выбрать из множества расчётов те, которые связаны с данным расчётом для объединения их в последовательность общего расчёта. Операция  $O_c$  базируется на сравнении значений соответствующих метаописаний расчётов, и когда значение метаописания одного расчёта совпадает со значением метаописания другого расчёта, это означает, что эти расчёты необходимо соединить в один и тот же общий расчёт:

$$\begin{cases} M_m(C_i) = M_m(C_j) \\ M_k(C_i) = M_k(C_j) \end{cases} \Rightarrow M_m(C_i) = C_j \otimes C_i$$

Опишем процесс совмещения двух расчётов на базе метаописаний:

Сравнение:  $M_l: Atr_1(C_1) = \text{“Value\_1”} \Leftrightarrow Atr_1(C_2) = \text{“Value\_1”}$

Проверка:  $\text{“Value\_1”} = \text{“Value\_1”} \Rightarrow$

Определение:

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 \otimes R_2 \\ R_1 \in R_2 \end{cases}$$

## 5 Пример описания инженерного расчёта в терминах формальной алгебраической системы

Приведем пример расчёта в портале инженерных знаний, используя для описания этого расчёта предложенную формальную алгебраическую систему. Для примера рассмотрим инженерный портал «Прочность материалов» и расчёт на статическую прочность.

Расчёт проводят для цилиндра, образованного внутренними ногами катушек тороидального поля, находящегося под действием бокового магнитного давления. Расчёт на устойчивость других элементов конструкций, находящихся под действием сжимающих нагрузок, проводят в соответствии с требованиями раздела 5.5 норм ПНАЕГ-7-002-86<sup>1</sup>.

Блок-схема выполнения расчёта на статическую прочность приведена на рисунке 6.

Расчёт на статическую прочность является частичным расчётом, таким образом, необходимо описать все множества метаописаний расчёта, учёт которых в дальнейшем позволит связывать его с другими в общий расчёт (таблица 8).

<sup>1</sup> Правила и нормы в атомной энергетике. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Утверждены ГК СССР по использованию атомной энергии и ГК СССР по надзору за безопасным ведением работ в атомной энергетике.

Таблица 8 - «Расчёт на статическую прочность» - Рас\_19

Стандартные метаописания				
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Название	Идентификатор	ПрО	Описание	Данные
Title	Identifier	Subject	Description	Data
Расчёт на статическую прочность	1	Прочность силовых элементов	Расчёт, проводящийся для ...	Int – data, formulas
Специфические метаописания				
M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>
Параметры	Нагрузки	Методы оценок	Элемент	Площади измерений
Parameters	Loading	Methods	Element	Measurement area
Давление, напряжение			Цилиндрическая оболочка, корпус	Поперечное сечение, длина
Метаописания, устанавливающие связь				
M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>	
Нормативный документ	Ссылочный расчёт	Общий расчёт	Материал	
Regulatory	Computation	General computation	Material	
ПНАЭГ-7-002-86	Comp_6	Поверочный расчёт	Сталь	

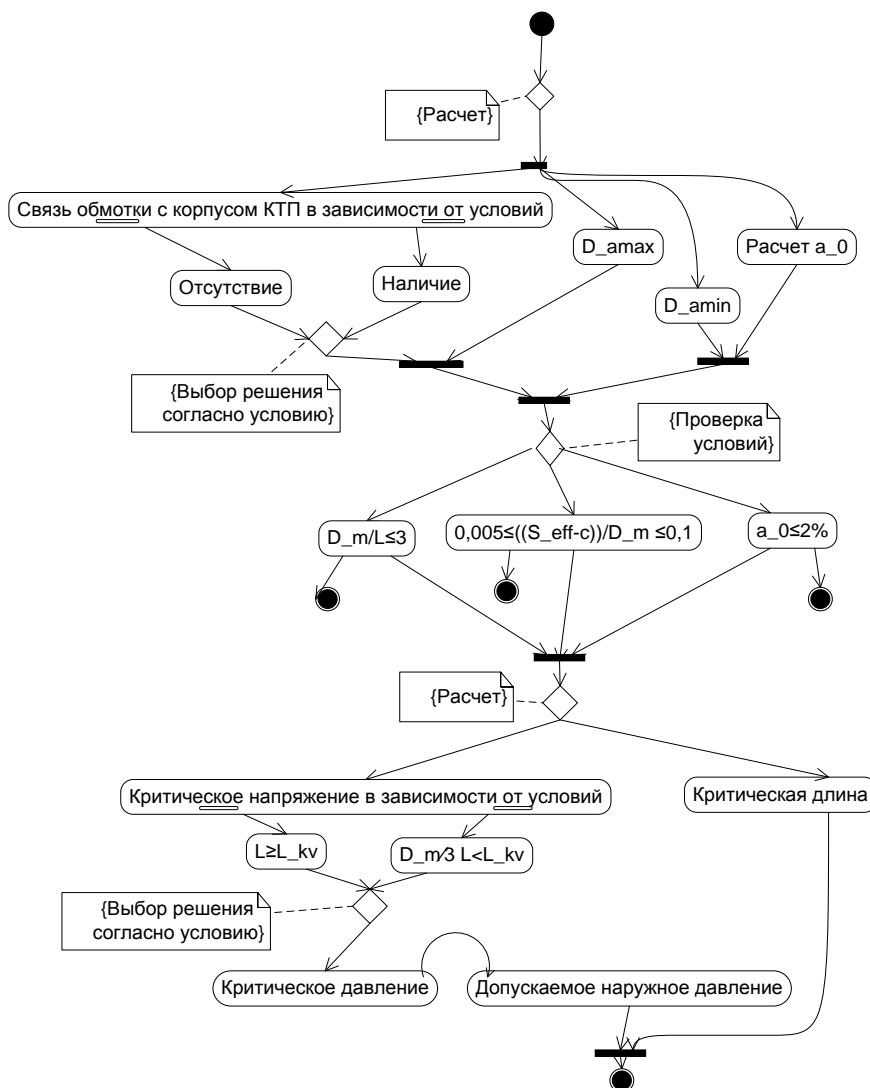


Рисунок 6 – Блок схема выполнения расчёта на статическую прочность

Таким образом, множество метаописаний расчёта на статическую прочность имеет вид:

$M_1(P_{19})$ : Title = «Расчёт на статическую прочность»

$M_2(P_{19})$ : Identifier = «1»

$M_3(P_{19})$ : Subject = «Прочность силовых элементов»

$M_4(P_{19})$ : Description = «Расчёт проводят для цилиндра, образованного внутренними ногами катушек тороидального поля, находящегося под действием бокового магнитного давления»

$M_5(P_{19})$ : Data = «data, formulas»

$M_6(P_{19})$ : Address = «http\calc266\19.portal.ua»

$M_7(P_{19})$ : Parameters = «Давление, напряжение»

$M_9(P_{19})$ : Element = «Цилиндрическая оболочка, корпус»

$M_{10}(P_{19})$ : Measurement area = «Поперечное сечение, длина»

$M_{11}(P_{19})$ : Regulatory = «ПНАЭГ-7-002-86»

$M_{12}(P_{19})$ : Computation = «Comp\_6»

$M_{13}(P_{19})$ : Generalcomputation = «Поверочный расчёт»

$M_{14}(P_{19})$ : Material = «Сталь»

Для Рас\_19 используется следующее множество носителей данных:

$$DM = \langle V, F, Bv, M \rangle,$$

где

$$V = \langle a_0, D_{a_{max}}, D_{a_{min}}, S_{eff}, L_{кр}, \delta_{кр}, p_{кр}, p_a \rangle$$

$$F = \langle a_0 = 200 \left( \frac{D_{\alpha_{max}} - D_{\alpha_{min}}}{D_{\alpha_{max}} + D_{\alpha_{min}}} \right), S_{eff} = \sqrt[3]{S_1^3 + \frac{E_2}{E_1} a_1^3}, S_{eff} = \sqrt[3]{S_1^3 + a_1^3 \frac{E_2}{E_1} + 3 \frac{E_2 a_1 S_1 (S_1 + a_1)^2}{E_1 (S_1 + \frac{E_2}{E_1} + a_1)}} \rangle$$

$$0,005 \leq \frac{(S_{eff}-c)}{D_m} \leq 0,1, L_{кр} = 1,2 D_m \sqrt{\frac{D_m}{S_{eff}-c}}, \delta_{кр} = 1,1 E^T \frac{S_{eff}-c}{D_m}, \delta_{кр} = 1,3 E^T \frac{D_m}{L} \left( \frac{S_{eff}-c}{D_m} \right) >$$

$$Bv = \langle 0,005 \leq x_i \leq 0,1 \rangle$$

$$M = \langle M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_9, M_{10}, M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{14} \rangle$$

При выполнении Рас\_19 используется набор простых операций алгебры расчётов:

$$\Omega = \{+, *, \subseteq, \subset, \not\subset, \in, \notin, \wedge, \vee, \setminus\}.$$

Такие операции задействованы при использовании данных из баз и хранилищ портала. Данные определяют характеристики и параметры материала или конструкции, которые необходимы для выполнения расчёта.

Рисунок 7 является модификацией рисунка 6 с добавлением блоков расчёта, которые соединены соответствующими операциями  $Z_{nc}$  и  $Z_{np}$ .

Как видно на рисунке 7, операции параллельного и последовательного соединения используются для Рас\_19 при объединении соответствующих блоков:

$$C_{19.a} = \langle C_{19.1} Z_{np} C_{19.2} \rangle$$

$$C_{19.b} = \langle C_{19.a} Z_{nc} C_{19.3} \rangle$$

$$C_{19.c} = \langle C_{19.4} Z_{np} C_{19.5} \rangle$$

$$C_{19} = \langle C_{19.b} Z_{nc} C_{19.c} Z_{nc} C_{19.6} \rangle$$

Изменение порядка операций (шагов) или этапов в Рас\_19 приведет к неправильному ответу, что делает невозможным использование операции инверсии для данного расчёта.

Предположим, даны расчёты «Расчёт на статическую прочность» и множество частичных расчётов портала. Необходимо найти, какой именно частичный расчёт связан с данными, и определить к какому общему расчёту они относятся. Для решения данной задачи пред-



лагается использовать операцию  $O_c$ . Проанализировав метаописания расчётов, определим, что метаописания  $M_7, M_9, M_{11}$  и  $M_{14}$  Рас\_19:

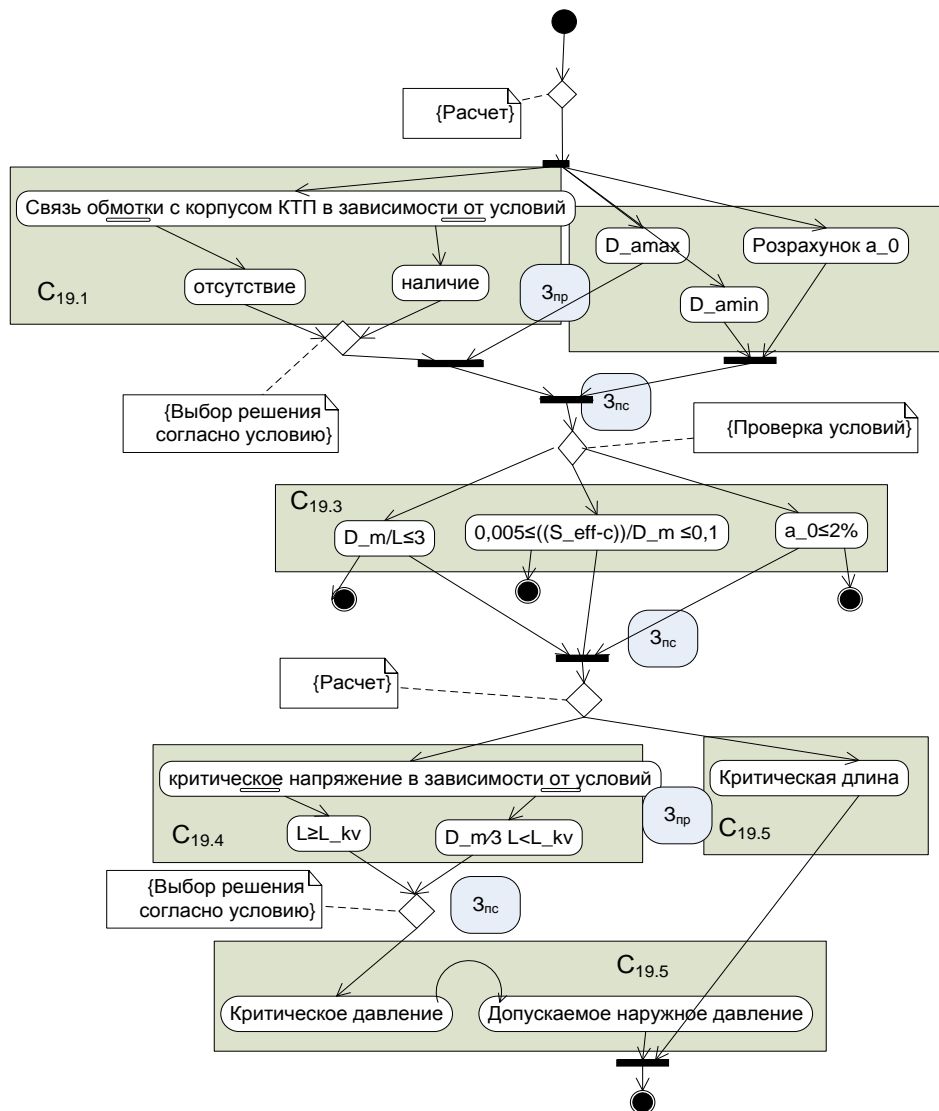


Рисунок 7 – Блок схема расчёта на устойчивость с операциями, которые их объединяют

$M_7 (P_{19}): Parameters = \langle \text{«Давление, напряжение»}$

$M_9 (P_{19}): Element = \langle \text{«Цилиндрическая оболочка, корпус»}$

$M_{11} (P_{19}): Regulatory = \langle \text{«ПНАЭГ-7-002-86»}$

$M_{14} (P_{19}): Material = \langle \text{«Сталь»}$

совпадают по значению с метаописаниями  $M_7, M_9, M_{11}$ , и  $M_{14}$  Рас\_24:

$M_7 (P_{24}): Parameters = \langle \text{«Давление, напряжение»}$

$M_9 (P_{24}): Element = \langle \text{«Цилиндрическая оболочка, корпус»}$

$M_{11} (P_{24}): Regulatory = \langle \text{«ПНАЭГ-7-002-86»}$

$M_{14} (P_{24}): Material = \langle \text{«Сталь»}$

где Рас\_24 – расчёт на устойчивость:

$$\begin{cases} M_7(C_{19}) = M_7(C_{24}) \\ M_k(C_i) = M_k(C_j) \end{cases} \Rightarrow M_7(C_i) = C_{19} \otimes C_{24}$$

Таким образом, частичный расчёт «Расчёт на статическую прочность» и частичный расчёт «Расчёт на устойчивость» связаны между собой по определению операции  $O_c$ :

$$C_k = \langle C_{19}O_cC_{24} \rangle.$$

В общий расчёт  $C_i$  будут входить:

$$C_i = \langle \dots, C_{19.1}Z_{np}C_{19.2} C_{19.a}Z_{nc} C_{19.3} C_{19.4}Z_{np}C_{19.5} C_{19.6}Z_{nc} C_{19.6} Z_{nc} C_{19.6}C_{19}O_cC_{24} \rangle.$$

Предложенная формальная алгебраическая система расчётов положена в основу технологии разработки инженерных порталов знаний, что позволило реализовать динамическое формирование сложной расчётной задачи из частичных расчётов.

## Заключение

В статье представлен подход к проектированию последовательности выполнения расчётных задач на инженерных порталах знаний при динамическом формировании сложных инженерных расчётов.

Предложена алгебра расчётов, которая позволяет получить требуемый общий расчёт в результате выполнения определенной системы алгебраических формализмов и динамически сформировать последовательность выполнения частных расчётов. Алгебра формализмов для расчётов портала знаний представляется множеством операций заданного вида на хранимом наборе информационных и вычислительных ресурсов портала.

## Список источников

- [1] *Levy, A.Y.* Logic-Based Techniques in Data Integration. Logic-based Techniques in Data Integration / A.Y. Levy // Logic Based Artificial Intelligence, Ed.: J. Minker. - Dordrecht, Netherlands: Kluwer Publishers, 2000.
- [2] *Загоруйко, Ю.А.* О формализации семантики областей знаний в информационных и интеллектуальных системах на основе онтологий / Ю.А. Загоруйко, Г.Б. Загоруйко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014): Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2014. – С. 117-130.
- [3] *Загоруйко, Ю.А.* Технология построения порталов научных знаний: опыт применения, проблемы и перспективы / Ю.А. Загоруйко // Материалы 21-й международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Крымико' 2011) - Севастополь: Вебер, 2011. – С.51-54.
- [4] *Гаврилова, Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем. / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
- [5] *Колб, Д.Г.* Интеллектуальные системы для сети Internet на основе семантически структурированных гипертекстов / Д.Г. Колб // Известия ВолГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. – 2011. – Т. 11, вып. 12. – С. 60–63.
- [6] *Globa, L.* Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development / L. Globa, R. Novogrudska, O. Oriekhov // IEEE, EuroCon 2013, (1-4 July 2013, Zagreb, Croatia). - P. 319-326.
- [7] *Глоба, Л.С.* Модель представления знаний на специализированном Интернет-портале в области сопротивления материалов / Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская // Системні дослідження та інформаційні технології. - 2012. - №2. - С. 42-48.
- [8] *Теленик, С.Ф.* Каталогизация и интеграция разнородных информационных ресурсов / С.Ф. Теленик, С.В. Жук, В.Т. Лыско, К.В. Ефремов // Молодой ученый. № 5, 2013. — С. 176 - 179.
- [9] *Зуенко, А.А.* Интеллектуальные обучающие системы на основе алгебраического представления вопросно-ответных текстов / А.А. Зуенко, Б.А. Кулик, А.Я. Фридман // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2013): материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2013. – С. 165-170.
- [10] *Павлов, А.А.* Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А. Павлов, С.Ф. Теленик. – К.: Техніка, 2002. – 344 с.
- [11] *Такеути, Г.* Теория доказательств / Г. Такеути. – М.: Мир, 1978. – 412 с.
- [12] *Спирина, М.С.* Дискретная математика / М.С. Спирина, П.А. Спирин. – М.: Академия, 2004. - 368 с.

- [13] *Шаховська, Н. Б.* Формальне подання простору даних у вигляді алгебраїчної системи / Н. Б. Шаховська // Системні дослідження та інформаційні технології = System research & information technologies: міжнародний науково-технічний журнал / Національна академія наук України, Інститут прикладного системного аналізу. – 2011. – № 2. – С. 128–140.
- 

## APPROACH TO FORMAL ALGEBRAIC SYSTEM OF KNOWLEDGE PORTAL DESIGNING

Larysa Globa, Rina Novogrudska

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine

lgloba@its.kpi.ua

**Abstract.** The paper presents an approach to the design of computational tasks of engineering knowledge portals, based on a formal algebraic system that allows to obtain the required general calculation as the result of a certain system of algebraic formalisms. The aim of a work is improving of the efficiency of processing, storage and access to information and computation resources of the specialized engineering knowledge Internet portals through the systematization of complex weak-binding heterogeneous information by constructing a formal algebraic system of knowledge portals. Main tasks are knowledge formalization for representation of context-independent structures that allow to operate with information that is represented on knowledge portals regardless from subject domain; development of mathematical model of engineering knowledge portal; integration of computation resources into the information portal space by unification and formalization of computation tasks linking elements; the development of complex engineering tasks organization method. Algebra of calculations describes the sequence of partial calculations that are united in general calculation. Formal algebra of knowledge portal is represented by the set of operations of a given form to a stored set of portal information and computing resources.

**Key words:** *knowledge portal, algebra of calculations, calculation task, engineering portal, information elements, functional elements, operations.*

### References

- [1] *Levy, A.Y.* Logic-Based Techniques in Data Integration. Logic-based Techniques in Data Integration / A.Y. Levy // Logic Based Artificial Intelligence, Ed.: J. Minker. - Dordrecht, Netherlands: Kluwer Publishers, 2000.
- [2] *Zagorulko, Yu. A.* O formalizatsii semantiki oblastej znaniy v informatsionnykh i intellektual'nykh sistemakh na osnove ontologij [About the semantics of the knowledge domain formalization in the informational and intellectual systems based on ontologies] Yu. A. Zagorulko, G.B. Zagorulko // Proceedings of OSTIS-2014 international conference on open semantic technologies for the intelligent systems design. Minsk, 2014. – pp. 117-130. (In Russian)
- [3] *Zagorulko, Yu. A.* O formalizatsii semantiki oblastej znaniy v informatsionnykh i intellektual'nykh sistemakh na osnove ontologij [About the semantics of the knowledge domain formalization in the informational and intellectual systems based on ontologies] Yu. A. Zagorulko// Proceedings of 21<sup>st</sup> international conference in Crimea "Micro-wave & Telecommunication Technology". Sevastopol: Weber, 2011. – pp. 51-54. (In Russian)
- [4] *Gavrilova T.A.* Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge bases of intellectual systems] / T.A. Gavrilova, V.F. KHoroshevskij. // — saint-Petersburg: Piter, 2000. - 384 p. (In Russian)
- [5] *Kolb, D.G.* Intellektual'nye sistemy dlya seti Internet na osnove semanticheski strukturirovannykh gipertekstov [Intellectual systems for the Internet, based on the semantically structured hypertext] / D.G. Kolb // Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noj tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh» interuniversity scientific journal – 2011. – Vol. 11, issue. 12. – pp. 60–63. (In Russian)
- [6] *Globa, L.* Method of heterogeneous information resources structuring and systematizing for Internet portals development / L. Globa, R. Novogrudska, O. Oriekhov // IEEE, EuroCon 2013, (1-4 July 2013, Zagreb, Croatia). - P. 319-326. (In Russian)
- [7] *Globa, L.* Model' predstavleniya znaniy na spetsializirovannom Internet-portale v oblasti soprotivleniya materialov [Model of knowledge representation on a specified Internet-portal for the strength of materials domain] / L. Globa, R. Novogrudska // Sistemni doslidzhennya ta informatsijni tekhnologii. - 2012. – Issue 2. - pp. 42-48. (In Ukrainian)

- [8] **Telenik, S.F.** Katalogizatsiya i integratsiya raznorodnykh informatsionnykh resursov [Catalogization and integration of diverse informational resources] / S.F. Telenik, S.V. ZHuk, V.T. Lysko, K.V. Efremov // Molodoy ucheny. — 2013. — Issue 5. — С. 176—179. (In Russian)
- [9] **Zuenko, A.A.** Intel'ektual'nye obuchayushhie sistemy na osnove algebraicheskogo predstavleniya voprosno-otvetnykh tekstov [Intelligent tutoring systems based on the algebraic representation of question-answer texts] / A.A. Zyenko, B.A. Kulik, A.Ya. Fridman // Proceedings of OSTIS-2014 international conference on open semantic technologies for the intelligent systems design. Minsk, 2013. — pp. 165-170. (In Russian)
- [10] **Pavlov, A.A.** Informatsionnye tekhnologii i algoritmizatsiya v upravlenii [Informational technologies and algorithmization in management] / A.A. Pavlov, S.F. Telenik. — Kiev: Technika, 2002. — 344 p. (In Russian)
- [11] **Takeuti, G.** Teoriya dokazatel'stv [Proof theory] / G. Takeuti. — Moscow: Mir, 1978. — 412 p. (In Russian)
- [12] **Spirina, M.S.** Diskretnaya matematika [Discrete mathematics] / M.S. Spirina, P.A. Spirin. — Moscow: Akademiya, 2004. — 368 p. (In Russian)
- [13] **Shakhov's'ka, N. B.** Formal'ne podannya prostoru danikh u viglyadi algebraichnoï sistemi [Formal presentation of data space as an algebraic system] / N. B. Shakhov's'ka // System research & information technologies: international scientific journal / Ukraine academy of science, institute of applied system analysis. — 2011. — Issue 2. — pp. 128–140. (In Ukrainian)

### Сведения об авторах



**Глоба Лариса Сергеевна.** Окончила Харьковский авиационный институт в 1978 г., к.т.н. (1984), д.т.н. (1996), проф. с 2001 г., с 2012 г. — академик Международной Академии информационных технологий (Минск, Белоруссия). Зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Сфера научных интересов: разработка интеллектуальных корпоративных систем производства и систем управления, распределенные системы, технологии Web-сервисов. В списке научных трудов около 400 работ, среди которых учебники и учебные пособия.

**Globa Larysa Sergiivna.** Graduated from Kharkov Aviation Institute in 1978, Ph.D., from 1984, Doctor of Technical Sciences from 1996, Prof. from 2001, academician of the International Academy of Information Technology (Minsk, Belorussia) from 2012. The head of the chair of Information and Telecommunication Systems of National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute". Research interests: development of intelligent enterprise production and management systems, distributed systems, Web-services technology. She is co-author of about 400 scientific works, a significant number of works issued abroad.



**Новогрудская Рина Леонидовна,** 1986 г. рождения. Окончила Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» в 2009 г. по специальности «Компьютерные науки». Аспирант, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных сетей НТУУ «КПИ». Сферы научных интересов: системы искусственного интеллекта, представление знаний, системный анализ и системное проектирование. В списке научных трудов около 40 работ в сфере проектирования порталов, разработки интеллектуальных систем, разработки моделей и методов представления знаний.

**Novogrudskaya Rina Leonidovna** (b.1986) graduated National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" in 2009. Ph.D. student, assistant professor at the department of Information and Telecommunication Systems. Research interests: artificial intelligence, knowledge representation, system analysis and system design. She is the co-author of more than 40 publications in the field of portal designing, intelligent systems development, models and methods of knowledge representation designing.

УДК 004.8

## РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОТРЕБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ СЕМАНТИЧЕСКОМ ПОИСКЕ

Ю.В.Рогущина

*Институт программных систем НАН Украины, Киев, Украина  
ladamandraka2010@gmail.com*

### Аннотация

В статье рассматриваются разработка онтологической модели информационной потребности пользователя, для удовлетворения которой производится семантический поиск. Предложена ее структура (основные компоненты – пользователи и их персональные программные агенты, информационные ресурсы, онтологии предметных областей, информационные объекты и т.д., а также связи между этими компонентами), средства пополнения и усовершенствования этой модели, включая метод ее использования при семантическом поиске. Обосновывается целесообразность онтологического подхода к построению такой модели, отображающей как персональную (об отдельных пользователях), так и коллаборативную (о группах пользователей) информацию. Для прогнозирования поведения поисковой системы предлагается использовать парадигму интеллектуальных программных агентов.

**Ключевые слова:** *семантический поиск, онтологическая модель, тезаурус, индуктивный вывод, рекомендующие системы, коллаборативный поиск*

### Введение

Проблема эффективного удовлетворения информационных потребностей (ИП) пользователей является сегодня одной из ключевых при разработке самых разнообразных информационных систем (ИС), связанных с управлением знаниями [1]. Это обусловлено тем, что большинство современных приложений ориентированы на использование и преобразование знаний об интересующей пользователя предметной области (ПрО), которые закладываются в ИС при её разработке, а извлекаются динамически из доступных информационных ресурсов (ИР). Как правило, доступ к различным ИР обеспечивается через Web, где для их представления могут использоваться самые разные модели формализации, способы и форматы хранения, условия доступа и методы обработки.

Таким образом, проблема извлечения знаний из Web оказывается составной частью самых разнообразных ИС и в общем случае связана с распознаванием информационных объектов (ИО), имеющих отношение к решаемой пользователем задаче. Эта проблема может рассматриваться как семантическая (использующая знания) надстройка над традиционным поиском информации.

В наиболее общем виде решаемая в данном исследовании проблема заключается в следующем: чтобы эффективно удовлетворить потребность пользователя в необходимой ему информации, необходимо получить формализованное описание этой потребности, опирающееся на знания о том, что пользователю надо и в какой форме. При этом пользователь, как правило, не обладает достаточными навыками для создания формализованных описаний задачи и ПрО (например, в виде онтологии), а если и обладает, то часто не соглашается тратить много времени и усилий на создание таких описаний. Поэтому необходимо формировать такие описания автоматизировано.

Кроме того, использование слишком сложных формализмов для таких описаний, хотя и обеспечивает адекватную математическую модель для поиска, но не позволяет пользователю самостоятельно понять её и обнаружить её несоответствие стоящим перед ним задачам. Таким образом, проблема заключается в нахождении некоего компромисса между сложностью модели и её наглядностью.

Поэтому необходимо проанализировать достоинства и недостатки существующих подходов к поиску информации и на этой основе построить модель взаимодействия пользователя с открытой информационной средой Web.

Следует отметить, что в работе рассматривается *частный случай* такого поиска, при котором пользователь согласен затратить определённые усилия для того, чтобы поиск осуществлялся более качественно. Для этого у пользователя может быть одна из ряда причин, и в каждом случае информационно-поисковая система (ИПС) должна учитывать специфику ситуации. Рассмотрим наиболее характерные ситуации:

1. Пользователи имеют стабильные долговременные ИП в тех областях, где сами они являются экспертами и достаточно хорошо представляют себе как структуру ПрО, так и структуру искомых информационных объектов. Такой поиск используется, в частности, научными сотрудниками и техническими специалистами.
2. Решение, которое пользователь собирается принять по результатам поиска, является для него очень важным, а качество получаемых результатов ему сложно оценить самостоятельно, так как он сам не обладает достаточными знаниями в данной ПрО. Такая ситуация может быть связана, например, с дорогостоящими покупками, с поиском работы или с лечением, т.е. действиями, которые пользователь предпринимает крайне редко. В этом случае может быть полезен опыт других пользователей, принимавших аналогичное решение, но для того, чтобы результат оказался эффективен, пользователю потребуется достаточно подробно описать как решаемую проблему, так и собственные параметры.
3. Потребности и предпочтения пользователя сложно формализовать, хотя сами оценки тем или иным информационным объектам пользователь может дать относительно легко. Такая ситуация характерна при подборе интересной для пользователя художественной литературы, музыки, украшений и предметов искусства, в оценке которых преобладают субъективные факторы. В таком случае для эффективного поиска пользователю надо предоставить набор удовлетворяющих его ИО, оценить некоторое количество ИО, предложенных ИПС, а поисковая система попытается найти общие свойства «хороших» ИО.

Следует учитывать, что, хотя пользователь может иметь интересы в различных областях и решать различные, не связанные друг с другом задачи, его собственные свойства при потреблении информации остаются достаточно стабильными, и потому ИПС может использовать эти сведения при решении новых задач.

## 1 Моделирование информационной потребности пользователя

В наиболее общем виде информационный поиск можно рассматривать как сопоставление модели ИП пользователя с информационными моделями различных ИР, доступных ИПС. Чтобы более точно сформулировать теорию интеллектуального информационного поиска, необходимо строго определить основные компоненты их семантической модели, их свойства и связи между ними.

Основными элементами этой модели, которые можно выделить при анализе существующих ИПС, являются:

- пользователь;
- ИП пользователя;

- запрос пользователя – явным образом переданное пользователем сообщение о наличии ИП;
- задача, для решения которой пользователь нуждается в удовлетворении своей ИП
- группа пользователей – некоторое подмножество всей совокупности пользователей ИПС, сгруппированных по какому-либо признаку;
- ИР – документы различных типов, к которым ИПС имеет доступ;
- ИО – сведения об объекте с определённой структурой, указанной пользователем, которые содержатся в одном или нескольких ИР;
- информационная среда – совокупность всех доступных ИР, их свойств (включая их оценки пользователями) и связей между ними;
- ПрО – некоторая часть ИР, связываемых в одно множество в соответствии с каким-то признаком их контента (принято считать, что понятие ПрО – множества всех предметов, свойства которых и отношения между которыми рассматриваются в научной теории – в общем случае не может быть формализовано как первичное понятие);

В дополнение к этим элементам предлагается ввести в модель еще один элемент – *агент пользователя* (АП). АП представляет собой интеллектуальный программный агент, который представляет интересы пользователя во взаимодействии с ИПС. Для описания поведения такого агента используются интенциональные отношения, с помощью которых можно формализовать цели, намерения и желания пользователя. Использование такого формализма, как АП, позволяет, с одной стороны, избежать приписывания человеку-пользователю искусственно суженной и формально описанной сферы интересов, а с другой – обеспечить средства и методы прогнозирования его поступков в рамках описываемой модели взаимодействия пользователя и ресурсов в открытой информационной среде. Кроме элементов, в модели должны отображаться связи между ИР и ПрО; ИП и ПрО; ПрО и задачами пользователей; пользователями и ПрО; пользователями из группы.

Для того чтобы формализовать описание элементов модели и обеспечить его автоматизированную обработку, целесообразно использовать онтологическое представление знаний о них. Таким образом, для описания ИП пользователя надо построить онтологическую модель, классы которой соответствуют перечисленным выше элементам, а отношения – связям между ними. Чтобы определить, какими атрибутами должны обладать классы, необходимо проанализировать историю развития ИПС и выявить тенденции их совершенствования.

### 1.1 Традиционный информационный поиск

При *традиционном информационном поиске* ИП представляется пользователем в виде запроса, который состоит из последовательности ключевых слов (иногда утверждают, что он представляет собой множество ключевых слов, но порядок введения слов влияет на результаты запроса, а в некоторых случаях в процессе поиска учитывается и непосредственное совпадение последовательности ключевых слов с фрагментом текстового ИР).

Получив такой запрос, ИПС сопоставляет его со сведениями о контенте проиндексированных ИР (как правило, каждый ИР – это отдельный документ), и в ответ на запрос пользователя формируется группа ИР, по тем или иным параметрам признанных ИПС соответствующими запросу, т.е.

$$I = \{i_j, j = \overline{1, n}\} = f(z, DB_{unc}).$$

Такой поиск обычно основывается на обнаружении лексического соответствия ключевых слов и терминов, содержащихся в документе, на основе минимальных предварительных знаний, рассматривая ИР как набор слов – последовательностей букв и цифр, отделенных друг от друга пробелами и другими символами-разделителями. В основе сопоставления лежит

векторная модель документов и запросов. При этом субъектами, обрабатываемыми ИПС при каждом поступившем запросе, являются пары (запрос, ИР), а их сопоставление производится унифицировано для всех запросов и всех пользователей.

Как правило, такой поиск применяют для обработки неструктурированной или слабо-структурированной текстовой информации – например, для естественно-языковых документов, в которых структура присутствует неявно и может быть выявлена лишь в результате лингвистического анализа. Кроме того, при сопоставлении часто учитывается расстояние между обнаруженными терминами – чем ближе в тексте они находятся друг к другу, тем выше степень соответствия. Для структурированных документов имеет также большое значение месторасположение ключевых слов (например, в заголовке или в метаописании).

Анализ исследований в области информационного поиска показал, что дальнейшее усовершенствование средств описания и алгоритмов сопоставления запросов и ИР практически не улучшает ситуацию, и поэтому для более эффективного поиска нужно использовать дополнительные знания – о ПрО, интересующей пользователя, о сообществах пользователей с подобными интересами и о качестве ИР.

## 1.2 Персонализированный информационный поиск

При *персонализированном поиске* субъектами обработки для ИПС являются тройки: запрос, пользователь, ИР. Так как при сопоставлении учитываются свойства конкретного пользователя, то результаты поиска по одному и тому же запросу оказываются различными для различных пользователей – в зависимости от их персональных способностей, интересов и предпочтений. Сведения о пользователе хранятся в БД поисковой системы и могут содержать его формальные характеристики (например, перечень естественных языков, которые знакомы пользователю), историю ранее выполненных запросов и знания об интересующих его ПрО.

$$I_{pers} = f(z, u, DB_{unc}).$$

В различных ИПС сохраняются различные сведения о пользователях. В общем случае такие сведения можно разделить на три категории:

- полученные от пользователя явно (при регистрации или в процессе опроса);
- импортированные из внешних источников информации – социальных сетей, домашних страниц, предложенных пользователем ИР, Википедии и т.д.;
- извлеченные из данных, накопленных ИПС в процессе взаимодействия с пользователем.

К сожалению, опыта конкретного пользователя не всегда достаточно для того, чтобы определить полезность тех или иных ИР (например, при обращении к новой ПрО или к новой группе ресурсов). В таком случае полезным может оказаться опыт других пользователей, производивших ранее поиск в той же области и имеющих сходные ИП. При коллаборативном поиске целесообразно использовать методы, применяемые в рекомендующих системах.

*Коллаборативный поиск* – поиск, при котором используются знания и опыт, полученные при совместной работе пользователей с ИПС. При этом предполагается, что пользователи объединяются в группу при наличии похожих интересов или в случае, если они решают похожие задачи.

## 1.3 Семантический информационный поиск

Семантический поиск предполагает, что информация в процессе сопоставления должна обрабатываться на семантическом уровне, с использованием знаний (о пользователе, ресурсах, ПрО и т.д.). Даже при самом простом варианте знание-ориентированного поиска при об-



работке запроса учитываются не только формальные сведения о запросе, пользователе и ИР, но и более сложно структурированные знания о них. Тогда при их сопоставлении необходимо будет оценивать степень подобия этих знаний. В частности, при онтологическом подходе к представлению знаний для каждого ИР может указываться онтология ПрО, характеризующая его контент, а для пользователя – онтология интересующей его ПрО, а при сопоставлении ИР и запроса необходимо будет выполнить сопоставление этих двух онтологий.

Кроме того, наличие дополнительных знаний о том, что именно ищет пользователь – например, о структуре искомого ИО – позволяет структурировать найденную информацию и предоставлять ее пользователю в более удобном виде. Например, если пользователю нужно найти информацию о каком-то учёном, и пользователь указывает, какие именно свойства этого человека представляют для него интерес, то при семантическом поиске ИПС может явным образом указать фамилию человека, его специальность, наличие публикаций и т.п.

*Семантический поиск* определяется как метод информационного поиска, в котором релевантность документа запросу определяется семантически (по близости смысла), а не синтаксически (по встречаемости ключевых слов в документе). От того какие именно знания используются, как они представлены и как они обрабатываются, зависит специфика разрабатываемой ИПС и её концепция, но в общем случае

$$I_s = \{i_j, j = \overline{1, n}\} = f(z, DB_{unc}, KB_{unc}).$$

При этом часто предоставляются возможности для нечёткого поиска (например, обрабатываются неправильно написанные ключевые слова) и для поиска с учётом контекста.

#### 1.4 Специфика информационного поиска в Web

Если речь идет о семантическом поиске в Web, то следует учитывать, что при этом в Web могут находиться не только ИО, среди которых осуществляется поиск, но и внешние базы знаний (БЗ), используемые при поиске. Поэтому при создании таких систем следует учитывать, что такие внешние БЗ могут менять контент, структуру и доступность независимо от разработчиков ИПС.

$$I_{web\_s} = \{i_j, j = \overline{1, n}\} = f(z, DB_{unc}, KB_{unc}, \{KB_{web\_k}, k = \overline{1, m}\}).$$

Следует учитывать, что сегодня многие ИПС (например, Google) стремятся накапливать и использовать опыт взаимодействия с конкретным пользователем. Но часто ИП пользователя оказываются ограниченными во времени (например, накопив информацию для выбора нового телефона, пользователь покупает его и больше не нуждается в сведениях о телефонах, а ИПС продолжает предлагать их ему) либо вообще не связанными с ним (например, запрос выполняется по чьей-либо просьбе). Кроме того, часть своих ИП пользователь не хочет делать открытой информацией, например, запросы, связанные с отдыхом или здоровьем не хочет смешивать с запросами по работе. Поэтому более целесообразно при выполнении запросов дать возможность пользователю включить его в один из своих профилей, либо вообще не сохранять для дальнейшей обработки.

#### 1.5 Тенденции развития информационного поиска

На основе анализа существующих ИПС можно выделить основные тенденции развития поиска [2]:

- от формального – к семантическому;
- от унифицированного – к персонифицированному;
- от индивидуального – к коллаборативному;
- от закрытого – к управляемому;

- от монотонного – к тематическому (с учётом динамики и конечности ИП).

Наиболее полно удовлетворить ИП пользователя позволяет интегрированное использование всех этих возможностей, т.е. персонифицированный, Web-ориентированный коллаборативный поиск, основанный на знаниях. Как правило, такой поиск является надстройкой над уже существующими поисковыми системами (например, Google), которая позволяет перепорядочить результаты поиска.

## 2 Постановка задачи

Чтобы обеспечить для различных интеллектуальных приложений эффективный доступ к ресурсам открытой информационной среды Web, необходимо разработать интегрированную формальную модель, обеспечивающую интероперабельное представление знаний о пользователях, ресурсах и специфике ПрО (в частности, учитывающих Semantic Web и социальный Web). При разработке методов обработки, представленных в этой модели знаний, необходимо проанализировать уже существующие средства онтологического анализа, возможности использования тезаурусов, методы индуктивного извлечения знаний и алгоритмы выработки рекомендаций на основе накопленного сообществом пользователей опыта об интересующей пользователя ПрО.

## 3 Использование онтологического анализа для семантического поиска

Различные действия, связанные с извлечением и обработкой знаний, представляют собой крайне трудоемкие, сложные и полностью не автоматизируемые процессы. Вследствие этого знания являются достаточно дорогостоящим продуктом. Поэтому возникает потребность в обеспечении повторного использования уже извлеченных знаний и в их интероперабельном представлении для этого. Основой для этого может послужить *онтологический анализ*, базирующийся на стандартах, технологиях и программных средствах, разработанных в рамках проекта Semantic Web [3].

То, что онтологии являются адекватным средством для описания различных ПрО, является на сегодня общепризнанным фактом, а широкий выбор онтологий, доступных через Web, подтверждает популярность этого подхода среди различных групп разработчиков и пользователей Web-приложений.

Кроме того, ряд языков описания онтологий (например, OWL DL) базируется на дескриптивных логиках, что обеспечивает достаточно точное прогнозирование сходимости и времени работы различных методов обработки знаний, представленных в виде онтологии.

Для того, чтобы повысить эффективность поиска, целесообразно как можно более точно определить два свойства ИП пользователя – 1) к какой ПрО относится ИП пользователя и 2) какой именно тип информации необходим для её удовлетворения. В первом случае пользователю нужно выбрать одну из существующих онтологий ПрО и при необходимости модифицировать её в соответствии со спецификой его проблемы. Так как не только создание и модификация онтологий, но и анализ содержащихся в уже созданных онтологиях знаний представляет собой достаточно сложную задачу, то такой подход приемлем только в том случае, если в дальнейшем такая онтология будет использоваться для выполнения не единичного запроса, а для достаточно большого числа связанных с этой ПрО запросов.

В последнее время многие разработчики ИПС в той или иной степени декларируют применение онтологий и поддержку семантического поиска. Например, семантический поиск Google включает три основных компонента [4]: адрес URI; RDF; значение (онтологию). При этом онтологии позволяют связывать друг с другом различные данные, описанные при по-

мощи RDF и адресованные через URI. Кроме того, для поддержки семантического поиска в Google применяется новый инструмент, обеспечивающий семантический поиск, – Knowledge Graph (Сеть знаний), который обеспечивает связь между различными элементами проиндексированного контента ИР и позволяет объединять информацию из различных источников.

Knowledge Graph позволяет непосредственно на странице с результатами поиска получать информацию об объекте поиска и связанные с ним факты: справа от результатов поиска на экран выводится информационная панель, отображающая сведения о географических объектах, людях, фильмах и т.п. Это позволяет пользователю получить информацию, не переходя на сайт, послуживший источником информации.

Knowledge Graph не просто идентифицирует ключевые слова, но и анализирует семантику поискового запроса и ищет информацию в базе данных Google, которая содержит сведения о различных объектах – людях, местах, предметах и т.п.

Google использует правила вывода, чтобы группировать информацию на основе того, как пользователи работают с данными в социальных сетях (распространяемый контент, комментарии и взаимодействие), форумах и при поиске в Google. Кроме того, отслеживается поведение пользователей на различных Web-сайтах и анализируются последовательности их действий. Важным источником информации служат и сервисы, определяющие географическое местонахождение пользователей по сигналу GPS от их мобильных устройств и по IP-адресу.

Разработчики Google утверждают, что персонализация поиска в сочетании с семантическим поиском повышают релевантность результатов поиска. Тем не менее, следует отметить, что сейчас такая информация для запросов – не только на русском или украинском языках, но и на английском – предоставляется в ответ только на самые короткие и простые запросы и по охвату значительно меньше, чем набор статей в Википедии. Поэтому остается открытым вопрос, насколько будет полезен пользователям новый сервис Google и насколько на самом деле в нём задействован семантический поиск.

Главная проблема, с которой сталкиваются пользователи Knowledge Graph, – отсутствие явной модели поиска и сведений о структуре и заполнении онтологии, используемой при поиске, которая позволяла бы прогнозировать его результаты. Кроме того, непонятно, какую политику применяет Google в тех случаях, когда ответы не однозначны и зависят не только от местоположения пользователя, языка, на котором он говорит, времени года и т.п., но и от более сложных и субъективных факторов (например, запрос «самые красивые собаки» или «выдающиеся политики», на которые не может быть однозначного ответа).

#### **4 Онтологическая модель взаимодействия пользователей и ресурсов в Web**

Так как семантический поиск – это надстройка над традиционным информационным поиском, в которой для повышения pertinентности поиска используется обработка знаний как о самом пользователе и его ИП (персонализация поиска), так и об ИР, среди которых осуществляется поисковая процедура, то для его осуществления необходимо сформировать набор формальных моделей его компонентов и указать связи между ними: информационных моделей пользователя; интересующей его ПрО; задачи, которую решает пользователь; информационных моделей доступных ИР, которые характеризуют их семантику, и их дальнейшего сопоставления (рисунок 1).

Сейчас для интероперабельного представления различных знаний в Web широко применяются онтологии, обеспечивающие явное формализованное представление семантики представленной информации и обеспечивающие возможность логического вывода на них. Поэтому представляется целесообразным для поддержки семантического поиска разрабатывать

именно онтологические модели взаимодействия пользователей и ИП в информационном пространстве Web, а также методы их сопоставления и пополнения.

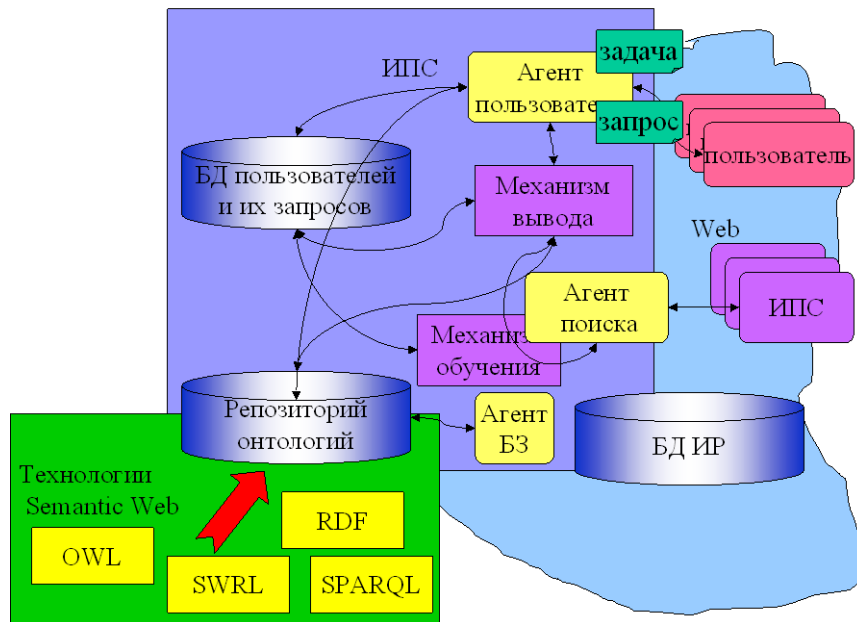


Рисунок 1 - Использование технологий Semantic Web в семантическом поиске

Онтологическая модель пользователя представляет собой класс онтологии, экземплярами которого являются сведения о зарегистрированных в ИПС пользователях (рисунок 2). В ней описаны следующие классы:

– *онтология ПрО*, которая описывает область, к которой относятся ИП пользователя  $O_{ПрО_i} = \langle T_{ПрО_i}, R_{ПрО_i}, F_{ПрО_i} \rangle, i = \overline{1, n}$ ;

– *лексическая онтология ПрО*, которая содержит сведения о лексемах естественных языков, соответствующих терминам онтологии ПрО  $O_{lex_i} = \langle T_{lex_i}, R_{lex_i}, f \rangle, i = \overline{1, n}$ , т.е.  $\forall t \in T_{ПрО_i}$ ;

– *тезаурус задачи* – множество пар, первым элементом в которых являются термины онтологии, совокупность которых характеризует ту конкретную задачу из ПрО, которую в данный момент решает пользователь, а вторым – вес (положительный или отрицательный) этого термина для данной задачи  $Th_{i_j} = \langle \{th_{k_{ij}} \in T_{ПрО_i}, v_{k_{ij}}\}, k = \overline{1, s_{ij}}, j = \overline{1, m_i} \rangle$ ;

– *запрос* – множество ключевых слов, характеризующих одну из ИП пользователя, связанный с конкретной задачей при помощи тезауруса  $z = \langle \{k_q\}, Th_{i_j} \rangle, q = \overline{1, u}$ ;

– *тема* – множество запросов, связанных с одной ИП  $thema = \langle id_{thema}, \{z_q\} \rangle, q = \overline{1, u}$ , которое может объединять запросы разных пользователей, базирующиеся на различных онтологиях и тезаурусах, и позволяющее объединять семантически связанные запросы;

– *результат запроса* – множество пар, первым элементом в которых являются ссылки на ИП, а вторым – оценки этих ИП пользователем  $rez = f(z, u) = \langle \{id_{ir}, rating_{ir}\} \rangle$ ;

– *пользователь* – класс, имеющий более сложную структуру и имеющий следующие атрибуты, которые можно разделить на несколько групп.

1. Регистрационная информация:

- идентификатор пользователя;
- пароль для доступа к ИПС.

2. Опыт взаимодействия ИПС с пользователем:

- список онтологий, которые пользователь применял для описания своих информационных интересов;
- список тезаурусов, которые пользователь применял в поисковых запросах;
- список ранее выполненных запросов;
- список результатов выполненных запросов с оценками пользователя для найденных результатов.

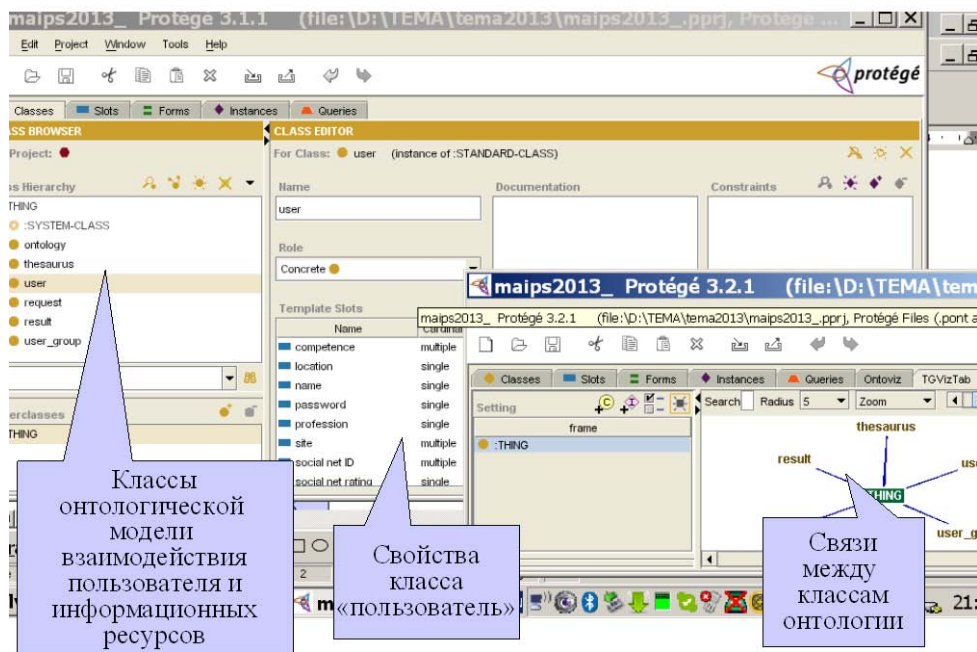


Рисунок 2 - Онтологическая модель взаимодействия пользователей и ИР

3. Сведения, импортируемые из внешних источников (необязательные сведения, могут отсутствовать):

- идентификаторы пользователя в социальных сетях, позволяющие динамически обновлять сведения о нём; рейтинги пользователя в социальных сетях;
- адрес пользователя в Википедии и других вики-ресурсах;
- адрес сайта пользователя;
- сфера компетенций пользователя (ключевые слова, импортируемые из социальных сетей);
- ссылки на публикации пользователя.

4. Собственные характеристики пользователя:

- сфера компетенций пользователя (список ключевых слов, вводимых пользователем непосредственно);

5. Формальные данные о пользователе (необязательные сведения, позволяющие ИПС формировать группы пользователей со схожими ИП):

- место жительства;
- возраст;
- профессия, образование и т.д..

– группа пользователей – класс, свойствами которого являются идентификатор группы и список пользователей, по тем или иным причинам объединённых в одну группу (группы могут формироваться явно путём выбора пользователя или автоматически на основе соответ-

вия каким-либо условиям, например, группы пользователей со сходными формальными данными или выполняющих похожие запросы)  $gr = \langle id_{gr}, \{u_i\}, i = \overline{1, n} \rangle$ ;

– *информационный ресурс* – сведения о найденных ранее ресурсах и их оценках  $\langle U_{url}, \{z_i, m_i, q_i\}, i = \overline{1, n} \rangle$ , включающие идентификатор ресурса, запросы, по которым он был обнаружен, оценку пользователя, которому он был предоставлен, и его уровень читабельности для этого пользователя.

## 5 Использование в семантическом поиске методов рекомендующих систем

Как известно, *рекомендующие системы* (РС) отличаются от ИПС тем, что пользователю не надо явным образом формулировать поисковый запрос – система сама, на основании имеющихся сведений о пользователе, предлагает ему рекомендуемые элементы (РЭ) [5]. Персонализированные рекомендации, вырабатываемые такими системами, – это упорядоченные списки РЭ, т.е. работа РС сводится именно к ранжированию доступных РЭ. Чем выше и точнее информированность РС о потребностях пользователя, тем более эффективны результаты её работы. Но даже в том случае, если пользователь явно формулирует свои ИП, с помощью методов, используемых в РС, можно значительно повысить пертинентность поиска, персонифицируя запрос и используя коллаборативные знания о различных сообществах пользователей, сгруппированных на основе подобных ИП [6].

Формально создание рекомендаций в РС может быть представлено следующим образом. Пусть  $C$  – множество пользователей РС,  $S$  – множество предлагаемых РЭ (товаров, книг, фильмов, сервисов и т. д.),  $U$  – функция полезности, описывающая интерес пользователя  $c \in C$  к РЭ  $s \in S$ , т.е.  $U : C \times S \rightarrow R$ , где  $R$  – количественная оценка. Цель РС – для каждого потребителя  $c \in C$  выбрать такой РЭ  $s' \in S$ , что  $U(c, s') = \max_{s \in S} U(c, s)$ . Каким именно образом определяется функция полезности, зависит от типа РС и от специфики РЭ.

В РС при выборе РЭ используют:

- *персональный* подход – анализ профиля конкретного пользователя, его ранее проявленных предпочтений и явным образом выраженных условий;
- *коллаборативный* подход – анализ предпочтений других пользователей, которые по тем или иным причинам могут распространяться и на того пользователя, для которого делается выбор;
- *контент-ориентированный* подход, при котором анализируются сами РЭ, предлагаемые пользователю;
- *доверительный* подход – анализируется качество предлагаемых пользователю РЭ и анализируется степень доверия к ним.

Следует отметить, что в большинстве реальных РС все эти подходы реализуются интегрировано, но им придаётся различное внимание.

В РС подобие между двумя пользователями основывается на том, какие оценки они дали одним и тем же РЭ. Для эффективной работы РС надо предвидеть оценки, исходя из небольшого количества примеров. Для преодоления проблемы разреженности оценок следует при поиске похожих пользователей использовать также сведения из их профилей и обнаруживать пользователей со схожими профилями, например, относящихся к одному демографическому сегменту.

Анализ основных направлений развития современных РС [7] связывает их с использованием онтологий для представления знаний как о пользователях, так и о РЭ. При персональном подходе РС необходимо накопить достаточно сведений о пользователе, чтобы в даль-

нейшем их обобщать и анализировать. Рекомендация относительно новых РЭ для пользователей может формироваться на основе его сравнения с подобными РЭ (фильтрация на основе контента), отзывов об РЭ в сообществе пользователей (коллаборативной фильтрации), семантических отношений между РЭ (эвристические рекомендации) или сочетания этих подходов.

Коллаборативная фильтрация использует рейтинги, предоставляемые сообществом пользователей, чтобы рекомендовать РЭ конкретному пользователю. Существуют два взаимодополняющих подхода к коллаборативной фильтрации: на основе пользователя или на основе РЭ. При коллаборативной фильтрации на основе пользователя находят группы подобных пользователей, а затем конкретному пользователю рекомендуют те РЭ, которые понравились другим пользователям из той же группы.

На основе вышеприведенного анализа можно предложить следующие подходы к работе РС с использованием онтологий: формирование модели пользователя; формирование модели РЭ; создание онтологии РЭ; накопление сведений об экземплярах РЭ и экземплярах пользователей; накопление оценок РЭ пользователями; анализ экземпляров РЭ; классификация (или кластеризация) пользователей на группы с подобными интересами; формирование набора стратегий, которые пользователь может явно выбирать для получения рекомендации; построение метода, позволяющего уточнить класс необходимого пользователю РЭ.

Рассмотрим также, оценки каких именно групп пользователей целесообразно применять для коллаборативной фильтрации. Самый простой случай группы – это группа, состоящая всего из одного пользователя, для которого и осуществляется поиск рекомендаций. Можно сказать, что при этом коллаборативная фильтрация сводится к персональной. Противоположный случай – когда для пользователя значимы оценки РЭ всем сообществом в целом. Это может иметь место для тех ПрО, к которым пользователь обращается впервые и ещё не имеет собственного мнения не только о самой области, но и о критериях нахождения в ней экспертов. К промежуточным случаям относится анализ оценок экспертов в ПрО (целесообразно предоставить пользователю возможность явно задавать приемлемый уровень их квалификации).

В целом следует оценивать выбранную стратегию рекомендации по трём направлениям – учёт мнения самого пользователя, учёт мнения сообщества, анализ самого РЭ. В таком трёхмерном пространстве можно разместить большинство типичных объектов рекомендации. Выбор пользователем значения по каждому из трёх параметров для стратегии рекомендации для интересующих его РЭ и наличие онтологии (или хотя бы таксономии РЭ) позволяет достаточно точно профилировать интересы самого пользователя, оценить его собственную компетентность для оценивания РЭ (и, соответственно, значимость его мнения для других пользователей) и выявлять группы пользователей со сходными интересами. Следует отметить, что более объективным является признание своей некомпетентности в оценивании РЭ, чем декларирование своей высокой квалификации.

## 6 Тезаурусы как средство представления онтологических знаний

Онтология ПрО имеет достаточно сложную структуру, но при удовлетворении ИП пользователя для решения конкретной задачи ИПС использует только часть содержащихся в такой онтологии знаний. Поэтому целесообразно использовать для моделирования знаний пользователя об интересующей его ПрО *тезаурус* – частный случай онтологии, который можно рассматривать как проекцию онтологии на задачу [8, 9].

Тезаурус – это  $Ts = \langle T, R \rangle$ , где  $T$  – множество терминов, а  $R$  – множество отношений между этими терминами. Множества  $T$  и  $R$  конечны. Множество терминов тезауруса  $T$  со-

ответствует множеству концептов  $X$  онтологии  $O$ . Тезауусы позволяют моделировать знания как о пользователях, так и о тех ресурсах, которые они ищут [10].

Чтобы формализовать область своих интересов – ПрО поиска – пользователю надо создать тезауус, моделирующий интересующую его ПрО, в котором содержатся основные термины ПрО и связи между ними. Тезауус можно создать вручную или автоматизировано. Основой для автоматического создания тезаууса может послужить обработка набора ИР, релевантных этой ПрО, или ранее созданная онтология ПрО, из которой пользователь отбирает только необходимые ему термины. Все эти подходы могут комбинироваться друг с другом.

Для создания тезауусов ИР и РЭ предлагается использовать упрощенный алгоритм построения тезаууса: по полному перечню слов, используемых в ИР, строится словарь терминов, из которого отбрасываются стоп-слова, содержащиеся в специально разработанном пользователем списке. Этот алгоритм применяется только для тех ИР, которые не сопровождаются метаописаниями. В противном случае из метаописаний (в формате RDF или OWL) извлекаются термины тезаууса и связи между ними, которые дополняют построенный по контенту ИР словарь. Аналогично строятся тезауусы РЭ – обрабатываются их метаописания, контент, отзывы о них других пользователей.

Пользователь вводит запрос, приблизительно идентифицируя свою ИП с помощью ключевых слов или выбирая класс интересующего его РЭ (возможно, с набором условий и ограничений), например, РЭ класса «художественная литература/фантастика/фэнтези», изданная после 2005 года. В ответ РС формирует набор РЭ, доступных системе и соответствующих этому приблизительно запросу  $n$  ссылок на РЭ и их кратких описаний  $I = \{Ref_j, D_j\}$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Здесь  $Ref_j$  – ссылка на соответствующий РЭ  $IP_j$  (или его описание), а  $d_j$  – информация об этом РЭ, доступная РС.

Если множество  $I$  не пусто, причем РС найден в ответ на запрос более чем один РЭ ( $n \geq 1$ ), то нужно установить порядок, в каком предлагать пользователю сведения о найденных РЭ. Тогда для всех РЭ из этого множества  $I = \{Ref_j, D_j\}$ ,  $j = \overline{1, n}$  формируются их упрощенные тезауусы  $Ts(IP_j) = \langle T_j, \emptyset \rangle$ ,  $j = \overline{1, n}$  и соответствующие им словари терминов  $T_j = \{t_{j_w}\}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $w = \overline{1, q_j}$ .  $t_{j_w}$  – это слова, которые используются в информации о  $j$ -м РЭ, найденном РС, т. е. в  $D_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ .  $q_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  – это количество различных слов, используемых в описании  $D_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Если слова в описании повторяются, то в словаре терминов они фиксируются только один раз.

Затем пользователь формирует тезауус интересующей его ПрО (или указывает на ранее сформированный тезауус)  $Ts_{ПрО}$  и соответствующий ему словарь терминов этой ПрО  $T_{ПрО} = \{t_m\}$ ,  $m = \overline{1, q}$ .  $T_{ПрО}$  – это множество, состоящее из  $m$  терминов, относящихся к интересующей пользователя ПрО. Это множество строится аналогично словарю терминов РЭ и обычно формируется как объединение словарей терминов, содержащихся в документах, которые пользователь нашел ранее и посчитал релевантными интересующей его ПрО (как в их контенте, так и в метаописаниях).

Производится сравнение  $T_{ПрО}$  и  $T_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ , высчитывается коэффициент их близости



$$K_j = \sum_{m=1}^q \sum_{w=1}^{w_j} f(t_{j_w}, t_m), \quad m = \overline{1, q}, \quad w = \overline{1, w_j}, \quad \text{где } f(t_1, t_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_1 \neq t_2, \\ 1, & \text{если } t_1 = t_2. \end{cases}$$

с собой количество терминов, встретившихся как в тезаурусе РЭ, так и в тезаурусе ПрО.

Найденные ИР упорядочиваются в зависимости от значений  $K_j$ , и пользователю предъявляются в первую очередь те ИР, которые имеют наиболее высокий коэффициент близости к ПрО.

Представляется целесообразным использовать онтологию ПрО и выделять группы слов тезауруса, соответствующих одному термину. Для этого пользователь должен связать РЭ словаря терминов тезауруса ПрО с одним из терминов онтологии ПрО, т. е.  $\forall t_m \in T_{\text{ПрО}}, m = \overline{1, q}$  задать функцию  $g(t_m) \in X$ , которая используется для вычисления коэффициента близости  $K^O$ :

$$K^O_j = \sum_{m,l} f(t_{j_w}, t_m), \quad m = \overline{1, q}, \quad w = \overline{1, w_j}, \quad \text{где } f(t_1, t_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } g(t_1) \neq g(t_2), \\ 1, & \text{если } g(t_1) = g(t_2). \end{cases}$$

$K^O$  представляет собой количество терминов, которые встретились как в тезаурусе РЭ, так и в тезаурусе ПрО и при этом ссылаются на один и тот же термин онтологии ПрО. Он позволяет использовать меньший объем документов для построения тезауруса ПрО, но требует больше время для вычислений.

При создании тезауруса ПрО, которая интересует пользователя РС, необходимо явно указать основные понятия ПрО и связи между ними. К сожалению, большинству пользователей достаточно сложно это сделать (даже имея соответствующие знания и применяя их в своей деятельности). На первом этапе формирования тезауруса пользователь может выбрать одно из следующих решений: 1) самостоятельно построить с помощью одного из редакторов онтологий онтологическое описание интересующей его ПрО; 2) найти (например, в Web) онтологию на языке OWL, которую описывает ПрО, близкую к области его информационных интересов; 3) сформировать множество понятий ПрО, содержащее наиболее характерные слова и словосочетания, встречающиеся в интересующих его ИР.

## 7 Использование индуктивного вывода для пополнения онтологий

При построении онтологий и тезаурусов ПрО, а также при коллаборативном подходе к поиску важно определить, какие связи между терминами ПрО являются существенными для описания ИП пользователя. Пользователю достаточно сложно самостоятельно обнаружить все важные закономерности и отбросить несущественные.

Для их выявления можно воспользоваться методами индуктивного и традуктивного извлечения знаний из данных. Существуют независимые подходы к реализации подобных методов: ID3, ACLS, CART и т. д. Наиболее интересным, в связи со спецификой проводимой работы, оказался алгоритм ID3 [11], который специально разработан для извлечения ценной информации из больших объёмов слабо структурированных данных.

Невозрастающий алгоритм ID3 предназначен для обобщения опыта экспериментов, параметры и результаты которых описаны через качественные оценки (лингвистические переменные). Он обеспечивает построение бинарного дерева решений, а это недостаточно удобно для представления закономерностей многих ПрО. Поэтому для пополнения онтологий предлагается использовать ID3m [12] – модификацию ID3 для произвольного (конечного) количества решений. Он также принадлежит к невозрастающим алгоритмам. В данном случае, примерами обучающей выборки являются РЭ, доступные РС, а параметрами, по которым

они описываются, являются их свойства, описанные в метаданных и в онтологии РЭ, значения параметров оценивших их пользователей, а также термины тезауруса пользователя.

## 8 Семантический поиск в МАИПС

МАИПС – это мультиагентная ИПС, которая обеспечивает семантический поиск различных ИО на основе знаний, содержащихся в онтологиях. Она предназначена для поиска информации в описанных пользователем относительно узких ПрО, связанных с профессиональными или научными интересами пользователей, и рекомендует пользователю те результаты поиска, которые относятся к интересующей его ПрО и соответствуют его персональным ИП. Её можно рассматривать как рекомендующую систему, ориентированную на формирование коллаборативных рекомендаций относительно естественно-языковых и мультимедийных информационных ресурсов, доступных через Web.

Система МАИПС ориентирована на пользователей, имеющих в сети постоянные информационные интересы и требующих постоянного поступления соответствующей информации. Для этого МАИПС позволяет сохранять и повторно выполнять запросы, учитывая реакцию пользователя на ранее предложенные ему ИП (персональная фильтрация), отслеживать появление аналогичных запросов у других пользователей (коллаборативная фильтрация), сохранять формальное описание области интересов пользователя в виде онтологии (семантическая фильтрация) и т.д.

Кроме того, в МАИПС при профилировании пользователей используется специфичный для естественно-языковых ИП критерий оценивания – сложность текста для понимания. Особенностью системы является использование оригинального знание-ориентированного алгоритма, позволяющего определить сложность понимания текста для конкретного пользователя (для этого используются тезаурусы ПрО, интересующих пользователей) [13].

МАИПС базируется на технологиях Semantic Web, в частности, использует язык представления онтологий OWL и средства его обработки. Для представления знаний об интересующей пользователя ПрО используются онтологии – как созданные самими пользователями, так и найденные в репозиториях онтологий, доступных через Web [14], – и тезаурусы ПрО. При этом тезаурус строится пользователем по соответствующей онтологии самостоятельно, а онтология выбирается из набора предложенных на сайте.

Пользователь МАИПС может обращаться к онтологиям, созданными другими пользователями, пересматривать их, задавать по ним контекст поиска, копировать из них нужные фрагменты, но не имеет права изменять их. ИПС может обеспечить поиск онтологий, которые содержат введенные пользователем термины, а также поиск онтологий, похожих на выбранную пользователем онтологию. Это позволяет создавать группы пользователей с общими информационными интересами и предотвратить дублирование в выполнении одинаковых многообразных запросов разных пользователей.

Онтологическая модель, описывающая семантику взаимодействия пользователей и ресурсов МАИПС в информационном пространстве Web, обеспечивает знания для выполнения следующих действий, связанных с поиском информации и основанных на рассмотренных выше методах.

1. *Предварительный этап*, когда в систему вводятся сведения об окружающем мире, т.е.:

- создается онтологическая модель, описывающая структуру информации относительно основных элементов, с которыми работает система (пользователей, ресурсов, результатов поиска и т.д.);

- вводятся онтологии ПрО, которые могут быть полезны для поиска, и ссылки на внешние репозитории и средства поиска онтологий, которые пользователь может применить для работы в специфических ПрО;
- по имеющимся онтологиям создается несколько примеров тезаурусов, которые могут быть использованы при поиске.

2. *Этап регистрации пользователя*, на котором пользователь вводит сведения, необходимые для создания нового экземпляра класса «пользователь».

3. *Этап создания нового запроса* пользователя, на котором пользователю последовательно нужно выполнить следующие действия:

- выбрать базовую онтологию, знания которой обеспечат семантическую обработку запроса;
- по выбранной онтологии создать тезаурус запроса одним из следующих способов:
  - \* выбрать несколько классов или экземпляров классов из базовой онтологии;
  - \* выбрать несколько классов из базовой онтологии и классы, находящиеся от них на семантическом расстоянии не более указанной пользователем величины;
  - \* выбрать несколько классов из базовой онтологии и их надклассы и подклассы указанной пользователем глубины;
  - \* выбрать несколько классов из базовой онтологии и классы, связанные с выбранными классами выбранным пользователем отношением, специфичным для ПрО;
  - \* вручную ввести термины тезауруса, характеризующие задачу пользователя;
  - \* над построенными ранее тезаурусами применить теоретико-множественные операции объединения, пересечения и дополнения;
  - \* указать вес каждого из терминов тезауруса, который отражает его важность для конкретной задачи.

- создать список ключевых слов, характеризующих конкретный информационный запрос, и соединить его с одним из ранее созданных тезаурусов;
- если нужно, присоединить запрос к одной из ранее построенных групп запросов или создать для него новую группу.

4. *Выполнение запроса*, в процессе которого поисковый запрос по ключевым словам перенаправляется внешней ИПС (Google), затем МАИПС получает найденные результаты и переупорядочивает их в соответствии с количеством найденных в них терминов тезауруса и их весом. Кроме того, для упорядочения могут учитываться другие свойства ИР, например, если пользователь указывает желаемый уровень читабельности, то этот параметр тоже влияет на рейтингование ИР.

Если некоторые из найденных ИР ранее были предложены другим пользователям МАИПС, то по желанию того пользователя, который предоставляет запрос, их оценки могут учитываться либо непосредственно, либо с учётом таких факторов, как степень подобия между этими пользователями и их рейтинг в данной ПрО, который вычисляется как по их собственным оценкам и сведениям о них из социальных сетей, так и по статистике, накопленной МАИПС.

5. *Обработка запросов* для повышения эффективности поиска. Кроме непосредственного выполнения запросов МАИПС определяет уровень компетентности пользователей для различных ПрО, который базируется на таких параметрах, как:

- количество запросов пользователя, основанных на данной онтологии;
- собственная оценка пользователем своей осведомленности в интересующих его ПрО;
- выбранный пользователем уровень читабельности текстовых ИР для данной ПрО - как заданный явно, так и средний для избранных им ИР по запросам, базирующимся на данной онтологии (этот параметр является наиболее объективным);

- релевантность собственных публикаций пользователя этой ПрО, которая определяется путем сопоставления тезауруса, построенного по онтологии ПрО, с тезаурусами публикаций;
- рейтинг пользователя в социальных сетях;
- количество других пользователей МАИПС, выбирающих пользователя за эксперта для поиска рекомендаций в данной ПрО.

б. *Создание рекомендаций* по результатам обработки. В отличие от большинства существующих РС, МАИПС позволяет пользователю явно, непосредственно и динамично управлять средствами создания рекомендаций. Пользователь может учитывать оценки:

- всего сообщества пользователей МАИПС;
- подмножеств пользователей, запросы которых базируются на тех же онтологиях;
- тех пользователей, которые используют наиболее подобные тезаурусы и ключевые слова для запросов;
- запросов с выбранной пользователем темы, в которую могут входить как только собственные запросы пользователя, так и запросы различных пользователей с различными онтологиями и тезаурусами;
- явно указанного подмножества пользователей МАИПС;
- подмножества пользователей МАИПС, построенного по введённым пользователем формальным условиям (например, по месту жительства или по возрасту);
- подмножества запросов самого пользователя, отвечающих определённым условиям (например, построенные в указанный интервал времени и по использованию ключевого слова).

Такие условия пользователь может предоставлять как для каждого запроса по отдельности, так и для определенной группы своих запросов. Результаты построения рекомендаций влияют на упорядочение результатов запроса и позволяют рекомендовать пользователю те ИР, которые не встречаются в результатах его собственных запросов, но считаются МАИПС интересными для него.

7. *Автоматизированное пополнение* профиля МАИПС функционирует в открытой информационной среде Web и поэтому нуждается в динамическом обновлении своих знаний об этой среде. Пути для этого являются проактивный поиск новых сведений о своих пользователях в Web и автоматизированное обновление онтологий ПрО (например, путем обработки семантических вики-ресурсов, экспорта внешних онтологий).

## 9 Использование интенциональных отношений для моделирования поведения программного агента пользователя ИПС

Оценить эффективность ИПС и её способность удовлетворять различные ИП пользователя достаточно сложно, так как оценки пользователей достаточно субъективны, а самим пользователям обычно сложно строго указать параметры, на основании которых одни ИО оказались предпочтительнее других при достаточно схожих формальных параметрах. Поэтому возникает необходимость в формальном математическом аппарате, позволяющем описывать ИП пользователя и прогнозировать поведение интеллектуального программного агента, представляющего перед ИПС интересы этого пользователя.

*Программные агенты* (ПА) – современная парадигма программирования, которая позволяет перейти на новый, более интеллектуальный уровень взаимодействия пользователя с программным и аппаратным обеспечением [15]. Она обеспечивает повышение эффективности работы и позволяет пользователям поручить ИС выполнение довольно сложных задач – например, поиск знаний.

Обычно человеческое поведение прогнозируется и объясняется через такие атрибуты отношений, как убеждение, желание, надежды, опасения и т.п., которые называются интенциональными понятиями. Философ Д. Деннет ввел термин интенциональных систем для описания сущностей, поведение которых прогнозируется путём приписывания им атрибутов убеждения, желания и рациональности [16], а Маккарти рассмотрел область применимости таких систем [17]. Чем меньше известно о системе и её структуре, тем более полезны интенциональные объяснения её поведения. Кроме того, для достаточно сложной системы (даже при наличии полной информации о ней) интенциональное объяснение ее поведения часто более практично, чем механистическое.

Интеллектуальный агент, как система, последовательно описывается через интенциональные состояния [18] информационными отношениями (убеждение, знание) и пред-отношениями (желание, намерение, обязательство, совершение, выбор, цель и т.д.). Информационные отношения относятся к информации, которую имеет агент о мире, в котором он существует (в данном случае – о пользователе, интересующей его Про и о нужных ему ИО, а также об информационном пространстве Web, в котором осуществляется процесс поиска информации), тогда как пред-отношения – это то, что некоторым образом руководит действиями агента (сведения о задаче, которую решает пользователь, и о его представлениях о том, что ему надо для её решения).

**Убеждения** (beliefs) агента выражают его мнение о текущем состоянии мира и о правдоподобии образа действия, приводящего к определенному эффекту.

**Желания** (desire) описывают предпочтения агента относительно будущих состояний мира или образа действий. Важной чертой желания является то, что агент может иметь несовместимые и недостижимые желания.

**Цель** (goals) - это непротиворечивое подмножество желаний агента.

**Намерения** (intension) - непротиворечивое подмножество целей, достижимых ограниченным в ресурсах агентом, и способ их достижения.

Пред- и информационные отношения тесно связаны, поскольку агенты могут делать рациональный выбор, формировать намерения и т.д. на основе информации, имеющейся у них о мире.

Многие интенциональные понятия – такие, как убеждение и желание – являются референциально непрозрачными (например, истинностное значение высказывания «А полагает X» зависит не только от истинностного значения X, но и от А) и поэтому классическая логика в её стандартной форме непригодна для их описания.

Вопрос, какая именно комбинация информационных отношений и пред-отношений лучше всего подходит для характеристики рациональных агентов, является ещё предметом обсуждения. В настоящее время наиболее популярный подход состоит в использовании различных комбинаций убеждений, желаний, целей и намерений. Например, Кохен и Левескье [19] используют два базовых отношения: убеждения и цели (другие отношения определяются через них), а Рао и Джоржеф [20] – три: убеждения, желания и намерения (BDI-архитектура). Однако, все эти формализмы фокусировались только на одном аспекте агентов - их информационных отношениях, а реальная теория агента должна быть представлена логической структурой, которая комбинирует его различные компоненты. Полная теория агента, выраженная в логике с этими свойствами, должна определять то, как атрибуты агента соотносятся между собой, в частности, как соотносятся в агентах информационные отношения и пред-отношения.

Для описания агента пользователя ИПС предлагается использовать формальную модель, включающую четыре интенциональных отношения – знания, убеждения, намерения и цели, а также связи между этими отношениями.

Рассмотрим утверждения типа « $A(R)\rho$ », где  $A$  – субъект,  $\rho$  – утвердительное предложение, а  $R$  – отношение между  $A$  и предложением  $\rho$ . Если в качестве отношения  $R$  рассмотреть убеждение, то утверждение, что « $A$  полагает  $\rho$ » истинно, означает, что  $\rho$  признается истинным для  $A$  независимо от действительной истинности  $\rho$ . Предполагается, что существует некто, утверждающий истинность всего предложения « $A$  полагает  $\rho$ », т.е. внешний субъект  $K$ . Следовательно, существуют две точки зрения:  $A$  – внутреннего и  $K$  – внешнего субъектов, т.е. в семантике возможных миров [21] необходимо рассматривать два множества возможных миров.

Зафиксируем базисное множество  $W$ , отражающее истинную картину и соответствующее знаниям внешнего субъекта  $K$ . В  $W$  оцениваются и немодальные, и модальные предложения.  $U$  – вспомогательное множество возможных миров, представляющее познания внутреннего субъекта  $A$ . В мирах  $u \in U$  оцениваются только немодальные предложения, выражающие суждения внутреннего субъекта об объектах. Мир  $u \in U$  описывает мир  $\omega \in W$  с точки зрения  $A$ .

В качестве общезначимого критерия отличия знания от убеждения берётся фиксированная точка зрения, представленная базовой системой возможных миров  $W$ . В таком случае предложение « $A$  полагает  $\rho$ » будет истинно в мире  $\omega \in W$  тогда и только тогда, когда  $\rho$  истинно в соотнесённом с миром  $\omega \in W$  мире  $u \in U$ . Предложение « $A$  знает  $\rho$ » истинно в  $\omega$  тогда и только тогда, когда  $\rho$  истинно в мире  $\omega$  и в соотнесённом с  $\omega$  мире  $u \in U$ . Последнее означает, что субъект утверждает истинность  $\rho$ , и  $\rho$  действительно истинно.

$\omega$  – классический возможный мир, т.е. в нём выполняются законы классической логики, и он полностью определён: любое правильно построенное высказывание языка в нём либо истинно, либо ложно. Но субъект  $A$  не всегда располагает полной и неискажённой информацией о мире, поэтому его представления о мире складываются из догадок и предположений. Поэтому для описания миров из  $U$  истинностных значений «истинно» и «ложно» явно недостаточно (например, существуют утверждения, истинностная оценка которых неизвестна, но субъект уверен в возможности либо невозможности такой оценки).

Существует зависимость между истинностными значениями и личностными познавательными модальностями (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость между истинностными значениями и личностными познавательными модальностями

Модальность	$\omega$ -мир	$u$ -мир
$A$ знает $\rho$	$\rho$ истинно	$\rho$ истинно
$A$ полагает $\rho$	$\rho$ произвольно	$\rho$ истинно
$A$ заблуждается в $\rho$	$\rho$ ложно	$\rho$ истинно
$A$ сомневается в $\rho$	$\rho$ произвольно	$\rho$ истинно или $\rho$ ложно
$A$ не знает $\rho$	$\rho$ произвольно	$\rho$ произвольно

Введем модальные операторы  $B$ ,  $D$  и  $I$ .

$B\rho$  означает «некто полагает  $\rho$ ». В случае  $N$  познающих субъектов можно ввести индекс  $i, i = \overline{1, N}$ ,  $B_i\rho$  означает « $i$ -й субъект полагает  $\rho$ ».

$\mathfrak{L}$  – язык классической пропозициональной логики.  $\mathfrak{L}^e$  – эпистемический язык, который содержит счётное множество пропозициональных переменных  $Var = \{\rho, q, r, \dots\}$ , связки  $\&$  и  $\neg$ , скобки и семейство обобщённых модальных операторов  $\{B_i, D_i, I_i; i, i = \overline{1, N}\}$ .  $F$  – множество формул языка  $\mathfrak{L}$ , такое, что:

1. Если  $\alpha \in Var$ , то  $\alpha \in F$ .

2. Если  $\alpha \in F$ , то  $\neg\alpha \in F$ .
3. Если  $\alpha, \beta \in F$ , то  $(\alpha \& \beta) \in F$ .

Множество формул языка  $\mathfrak{F}^e$  – такое множество  $F^e$ , что:

1. Если  $\alpha \in F$ , то  $\alpha \in F^e$ .
2. Если  $\alpha \in F^e$ , то  $B_i\alpha \in F^e$ ,  $i = \overline{1, N}$ .
3. Если  $\alpha \in F^e$ , то  $D_i\alpha \in F^e$ ,  $i = \overline{1, N}$ .
4. Если  $\alpha \in F^e$ , то  $I_i\alpha \in F^e$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Остальные связки ( $\vee, \supset, \equiv$ ) определяются обычным образом. Множество  $F^e$  будем называть базовым, а множество  $F$  – вспомогательным.

Для языка  $\mathfrak{F}^e$  предлагается следующая семантика возможных миров

$\wp = \langle W, U, s, \varphi \rangle$  – модель языка  $\mathfrak{F}^e$  тогда и только тогда, когда:

1.  $W$  – непустое базовое множество возможных миров;
2.  $U$  – непустое вспомогательное множество возможных миров;
3.  $s$  – функция типа:  $s: W \rightarrow U$ ;
4.  $\varphi$  – функция приписывания.

$\varphi(p) = \langle TW(p), TU(p), FU(p) \rangle \quad \forall p \in \text{Var}$ , где  $TW(p) \subseteq W$  и  $TU(p) \subseteq U$  – множество миров, где  $p$  истинно, а  $FU(p) \subseteq U$  – множество миров, где  $p$  ложно; причем  $TU(p) \cap FU(p) = \emptyset$ , но в системе миров  $U$  допускаются неизвестные значения истинности  $p$ .

Пусть  $\alpha$  и  $\beta$  принадлежат вспомогательному множеству формул  $F$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  – формулы базового множества  $F^e$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Следующие схемы аксиом и правило вывода описывают модальный оператор убеждения:

- A1.  $B_i(\alpha \& \beta) \equiv (B_i\alpha \& B_i\beta)$ ;
- A2.  $B_i(\alpha \vee \beta) \equiv (B_i\alpha \vee B_i\beta)$ ;
- A3.  $B_i(\alpha \rightarrow \beta) \equiv (B_i\alpha \rightarrow B_i\beta)$ ;
- A4.  $B_i\neg(\alpha \& \beta) \equiv (B_i\neg\alpha \vee B_i\neg\beta)$ ;
- A5.  $B_i\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (B_i\neg\alpha \& B_i\neg\beta)$ ;
- A6.  $B_i\neg(\alpha \rightarrow \beta) \equiv (B_i\alpha \& B_i\neg\beta)$ ;
- A7.  $B_i\alpha \rightarrow \neg B_i\neg\alpha$ ;
- A8.  $B_i\alpha \rightarrow B_i\neg\neg\alpha$ ;
- A9.  $B_i\neg\neg\alpha \rightarrow B_i\alpha$ ;

Правило вывода «modus ponens»: если  $\gamma, \gamma \rightarrow \delta$ , то  $\delta$ .

Введем в язык  $\mathfrak{F}^e$  новые операторы, характеризующие познания: оператор знания  $K$  и оператор заблуждения  $E$ .  $K_i\alpha$  означает « $i$ -тый субъект знает  $\alpha$ », а  $E_i\alpha$  – « $i$ -тый субъект ошибается, предполагая  $\alpha$ ».

- A10.  $K_i\alpha \rightarrow (B_i\alpha \& \alpha)$ ;

В схеме A10 использован знак импликации, поскольку если при определении заблуждения достаточно указать на ложность того, что субъект принимает как истинное, то из того факта, что нечто истинно для субъекта и истинно в фиксированной системе, ещё нельзя заключить о том, что субъект знает это:  $(B_i\alpha \& \alpha) \& \neg K_i\alpha$ .

- A11.  $E_i\alpha \equiv (B_i\alpha \& \neg\alpha)$ .

Имеет место транзитивное отношение достижимости:

- A12.  $K_i\alpha \rightarrow K_j K_i\alpha$

Эта аксиома описывает процесс исследования индивидуумом своих убеждений: он осознает то, что он знает.

- A13.  $B_i\alpha \rightarrow K_i B_i\alpha$

Эта аксиома говорит о том, что агент осознает, чего он не знает.

Введём модальный оператор цели. Утверждение, что «А желает  $\rho$ » истинно, означает, что  $\rho$  признаётся предпочтительным для А независимо от действительных возможностей А и достижимости для него  $\rho$ .

Субъект А может иметь несовместимые желания, и он не должен полагать, что его желания достижимы. Поэтому введём более узкое понятие – цель. Цель – это совместимое подмножество желаний.  $D_i\rho$  означает «некто имеет цель  $\rho$ ».  $D_i\rho$  означает « $i$ -й субъект имеет цель  $\rho$ ». Следующие схемы аксиом и правило вывода описывают модальный оператор цели:

$$B1. D_i(\alpha \& \beta) \equiv (D_i\alpha \& D_i\beta);$$

$$B2. D_i(\alpha \vee \beta) \equiv (D_i\alpha \vee D_i\beta).$$

Цели (в отличие от желаний) не противоречат друг другу:

$$B3. D_i\neg\alpha \equiv \neg D_i\alpha;$$

$$B4. D_i\neg(\alpha \& \beta) \equiv (D_i\neg\alpha \vee D_i\neg\beta);$$

$$B5. D_i\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (D_i\neg\alpha \& D_i\neg\beta);$$

$$B6. D_i\alpha \equiv D_i\neg\neg\alpha;$$

$$B7. D_i(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (D_i\alpha \rightarrow D_i\beta);$$

$$B8. V_i(\alpha \rightarrow \beta) \& D_i(\alpha) \rightarrow D_i\beta;$$

$$B9. V_i(D_i\alpha) \equiv D_i(\alpha).$$

Утверждение, что «А намерен  $\rho$ » истинно, означает, что «А желает  $\rho$ » и «А полагает  $Y(\rho)$ », где  $Y(\rho)$  – способ достигнуть  $\rho$ .  $I_i\rho$  означает «некто намерен  $\rho$ ».  $I_i\rho$  означает « $i$ -й субъект намерен  $\rho$ ». Следующие схемы аксиом и правило вывода описывают модальный оператор намерения:

$$C1. I_i(\alpha \& \beta) \equiv (I_i\alpha \& I_i\beta);$$

$$C2. I_i(\alpha \vee \beta) \equiv (I_i\alpha \vee I_i\beta).$$

Намерения не противоречат друг другу:

$$C3. \neg I_i(\alpha) \equiv I_i\neg\alpha;$$

$$C4. I_i\neg(\alpha \& \beta) \equiv (I_i\neg\alpha \vee I_i\neg\beta);$$

$$C5. I_i\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (I_i\neg\alpha \& I_i\neg\beta);$$

$$C6. I_i\alpha \equiv I_i\neg\neg\alpha;$$

$$C7. I_i(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (I_i\alpha \rightarrow I_i\beta);$$

$$C8. I_i\alpha \rightarrow D_i\alpha;$$

$$C9. V_i(I_i\alpha) \equiv I_i(\alpha).$$

Очевидно, что предложенный выше набор схем аксиом является непротиворечивым, то есть  $\forall \alpha \in F^e$  не выводима  $\alpha \& \neg\alpha$  (так как убеждения, цели и намерения каждого конкретного субъекта не противоречат друг другу по определению). В то же время предложенная система аксиом в общем случае не полна, то есть  $\exists \alpha \in F^e$ , для которых не выводимы ни  $\alpha$ , ни  $\neg\alpha$  (это вызвано неполнотой знаний и убеждений конкретного субъекта).

Выбор данной модальной системы позволяет моделировать поведение разумного целеустремлённого субъекта, некоторые предположения которого могут оказаться ошибочными, но который обладает совершенной способностью к логической интроспекции относительно того, что он предполагает и чего не предполагает [22]. В частности, в МАИПС таким субъектом является пользователь и представляющий его интересы интеллектуальный ПА. Использование модальностей позволяет смоделировать его поведение при оценке различных ИО.



## Выводы

Разработка онтологической модели ИП пользователя при семантическом поиске в Web обеспечивает совместное использование методов выработки рекомендаций, доступа к внешним источникам информации, индуктивного извлечения знаний и технологий Semantic Web, что позволяет более эффективно обеспечить пользователя необходимыми сведениями, а явным образом выбранные методы рекомендаций и онтологические описания Про обеспечивают пользователю понимание поведения такой системы. Применение парадигмы интеллектуальных программных агентов при описании элементов такой поисковой системы позволяют прогнозировать её поведение.

## Список источников

- [1] *Розушина Ю.В.* Управление знаниями на основе онтологий в дистанционном обучении. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.– 92 с.
- [2] *Розушина Ю.В.* Знание-ориентированные средства поддержки семантического поиска в Web // Материалы IV международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» OSTIS-2014, Минск, БГУИР, 2014. – С.339-352.
- [3] *Хорошевский В.Ф.* Онтологические модели и Semantic Web: откуда и куда мы идем?// Сб. трудов симпозиума «Онтологическое моделирование». Звенигород, 19–20 мая 2008 г. М., ИПИ РАН, 2008.
- [4] *Amerland D.* Google Semantic Search: Search Engine Optimization (SEO) Techniques That Gets Your Company More Traffic, Increases Brand Impact and Amplifies Your Online Presence. – Que Publishing, 2013. – 230 p.
- [5] *Ricci F., Rokach L., Shapira B., Kantor P.* Recommender Systems Handbook. – Springer, 2011. – 842 p.
- [6] *Розушина Ю.В.* Менеджмент знаний в рекомендующих системах на основе онтологий // Сборник трудов XIII международной конф. им. Т.А.Таран "Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013", К., Просвіта, 2013. – С. 14-20.
- [7] *Middleton S., De Roure D., Shadbolt N.* Ontology-Based Recommender Systems // in Handbook on Ontologies, Edt. by S.Staab, R.Studer, Springer, 2009. – P. 779-796.
- [8] *Браславский П.И., Гольдштейн С.Л., Ткаченко Т.Я.* Тезаурус как средство описания систем знаний // Информационные процессы и системы. – 1997. – № 11, Серия 2. – С. 16-22.
- [9] *Лукашевич Н.В.* Тезаурусы в задачах информационного поиска. – М.: Издательство Московского университета, 2011. – 512 с.
- [10] *Гладун А.Я., Розушина Ю.В.* Онтологии и мультилингвистические тезаурусы как основа семантического поиска информационных ресурсов Интернет // The Proc. of XII-th Intern. Conf. KDS'2006, Varna, Bulgaria. – P. 115-121.
- [11] *Quinlan J.R.* Discovery rules from large collections of examples: a case study // Expert Systems in the Microelectronic Age. – Edinburg, 1979. – P. 87-102.
- [12] *Rogushina J., Gladun A.* Ontology-based competency analyses in new research domains // Journal of Computing and Information Technology. V.20, N. 4, 2012. – P.277-293.
- [13] *Розушина Ю.В.* Использование критериев оценки удобочитаемости текста для поиска информации, соответствующей реальным потребностям пользователя // Проблемы программирования. – 2007. № 3. – С. 76-87.
- [14] *Розушина Ю.В., Гладун А.Я.* Репозитории онтологий как средство повторного использования знаний для распознавания информационных объектов // Онтология проектирования, № 1 (7), 2013. – С.35-50.
- [15] *Плескач В.Л., Розушина Ю.В.* Агентні технології. – Монографія. К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2005. – 338 с.
- [16] *Dennett D.C.* The Intensional Stance. The MIT Press: Cambridge, MA, 1987. – 282 p.
- [17] *McCarthy J.* Ascribing mental qualities to machines. Technical report, Stanford University AI Lab., Stanford, CA 94305, 1978. – 84 p.
- [18] *Konolige K.* A Deduction Model of Belief. Pitman Publishing: London and Morgan Kaufmann: San Mateo, CA, 1986. – 226 p.
- [19] *Cohen P.R., Levesque H.J.* Intention is choice with commitment // Artificial Intelligence, 42, 1990. – P.213-261
- [20] *Rao A.S., Georgeff M.P.* Modeling rational agents within a BDI-architecture // In R. Pikes and E. Sandewall, eds.. Proc. of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-91), Morgan Kaufmann Publishers: San Mateo, CA, April 1991. – P. 473-484.
- [21] *Hintikka J.* Knowledge and Belief. Cornell University Press: Ithaca, NY, 1962. – 124 p.

- [22] *Рогушина Ю.В.* Программные агенты: определения, таксономии, модели // Управляющие системы и машины, 2001, N 5. - С.39-45

## DESIGN OF THE ONTOLOGICAL MODEL OF USER'S INFORMATIONAL NEED IN SEMANTIC SEARCH

**J.Rogushina**

*Institute of software systems of National academy of sciences of Ukraine , Kiev, Ukraine  
ladamandraka2010@gmail.com*

### Abstract

Design of the ontological model of user's informational need that is satisfied by means of semantic search is analyzed. The structure of this model (it's main components – users and user's personal program agents, informational resources, domain ontologies, informational objects etc. and relations between these components), means of model refinement and method of its use for semantic search are proposed. Reasonability of ontological approach for development of this model that represent personal (about users) and collaborative (about groups of users) knowledge is grounded. Paradigm of intelligent software agents is used for description of retrieval system behavior forecasting.

**Key words:** *semantic search, ontological model, thesaurus, recommending system, software agent.*

### References

- [1] *Rogushina J.V.* Upravlenie znaniyami na osnove ontologij v distantsionnom obuchenii. [Ontology-based knowledge management in distance learning.] – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.– 92 p. (In Russian).
- [2] *Rogushina J.V.* Znanie-orientirovannye sredstva podderzhki semanticheskogo poiska v Web [Knowledge-based support tools for semantic Web search] // Proceedings of the IVth international scientific conference OSTIS-2014, Minsk, BGUIR, 2014. – p.339-352. (In Russian).
- [3] *Khoroshevskij V.F.* Ontologicheskie modeli i Semantic Web: otкуда i kuda my idem? [Ontological models and Semantic Web: how and where are we going?]: Proceedings of the “Ontological modeling” symposium. Zvenigorod, 19–20 May 2008 г. Moscow., IPI RAS, 2008. (In Russian)
- [4] *Amerland D.* Google Semantic Search: Search Engine Optimization (SEO) Techniques That Gets Your Company More Traffic, Increases Brand Impact and Amplifies Your Online Presence. – Que Publishing, 2013. – 230 p.
- [5] *Ricci F., Rokach L., Shapira B., Kantor P.* Recommender Systems Handbook. – Springer, 2011. – 842 p.
- [6] *Rogushina J.V.* Menedzhment znaniy v rekomenduyushhikh sistemakh na osnove ontologij [Knowledge Management in recommender systems based on ontologies] // Proceedings of the XIIIth international conference "Intellectual information analysis IAI-2013", Kiev, Prosvita, 2013. – pp. 14-20. (In Russian)
- [7] *Middleton S., De Roure D., Shadbolt N.* Ontology-Based Recommender Systems // in Handbook on Ontologies, Edt. by S.Staab, R.Studer, Springer, 2009. – P. 779-796.
- [8] *Braslavskij P.I., Gol'dshtejn S.L., Tkachenko T.Ya.* Tezaurus kak sredstvo opisaniya sistem znaniy [Thesaurus as a means of describing knowledge systems] // Information processes and systems. – 1997. – No. 11, Series 2. – pp. 16-22. (In Russian)
- [9] *Lukashevich N.V.* Tezaurusy v zadachakh informatsionnogo poiska [Thesauri in information retrieval tasks]. – Moscow: Moscow university publishing, 2011. – 512 p. (In Russian)
- [10] *Gladun A.Ya., Rogushina Yu.V.* Ontologii i multilingvisticheskie tezaurusy kak osnova semanticheskogo poiska informatsionnykh resursov Internet [Thesauri and ontologies as a basis for multilingvistic semantic search for Internet information resources] // The Proc. of XII-th Intern. Conf. KDS'2006, Varna, Bulgaria. – P. 115-121.
- [11] *Quinlan J.R.* Discovery rules from large collections of examples: a case study // Expert Systems in the Microelectronic Age. – Edinburg, 1979. – P. 87-102.
- [12] *Rogushina J., Gladun A.* Ontology-based competency analyses in new research domains // Journal of Computing and Information Technology. V.20, N. 4, 2012. – P.277-293.
- [13] *Rogushina J.V.* Ispol'zovanie kriteriev otsenki udobochitaemosti teksta dlya poiska informatsii, sootvetstvuyushhej re-al'nym potrebностям pol'zovatelya [Using readability criteria evaluation to search for information relevant to the needs of the real user] // Problems of programming. – 2007. –No 3. – pp. 76-87. (In Russian)

- [14] **Rogushina J., Gladun A.** Repozitorii ontologij kak sredstvo povtornogo ispol'zovaniya znaniy dlya raspoznavaniya informatsionnykh ob"ektov [Ontology repository as a means of re-use of knowledge for the recognition of information objects] // *Ontology of designing*, No. 1 (7), 2013. – pp.35-50. (In Russian)
- [15] **Pleskach V.L., Rogushina J.V.** Agent technologies. – Monograph. Kiev: Kiev national trading institute, 2005. – 338 p. (In Ukrainian)
- [16] **Dennett D.C.** *The Intensional Stance*. The MIT Press: Cambridge, MA, 1987. – 282 p.
- [17] **McCarthy J.** Ascribing mental qualities to machines. Technical report, Stanford University AI Lab., Stanford, CA 94305, 1978. – 84 p.
- [18] **Konolige K.** *A Deduction Model of Belief*. Pitman Publishing: London and Morgan Kaufmann: San Mateo, CA, 1986. – 226 p.
- [19] **Cohen P.R., Levesque H.J.** Intention is choice with commitment // *Artificial Intelligence*, 42, 1990. – P.213-261
- [20] **Rao A.S., Georgeff M.P.** Modeling rational agents within a BDI-architecture // In R. Pikes and E. Sandewall, eds.. *Proc. of Knowledge Representation and Reasoning (KR&R-91)*, Morgan Kaufmann Publishers: San Mateo, CA, April 1991. – P. 473-484.
- [21] **Hintikka J.** *Knowledge and Belief*. Cornell University Press: Ithaca, NY, 1962. – 124 p.
- [22] **Rogushina J.V.** Programmnye agenty: opredeleniya, taksonomii, modeli [Software agents: definitions, taxonomy model] // *Upravlyayushhie sistemy i mashiny*, 2001, No 5. - pp.39-45 (In Russian)
- 

### Сведения об авторах



**Рогушина Юлия Витальевна**, 1967 г. рождения. Окончила Киевский государственный университет им. Т.Г.Шевченко в 1989 году. Степень кандидата физико-математических наук получила в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова (г. Киев, Украина) в 1995 году. В настоящее время работает старшим научным сотрудником Института программных систем, Национальной академии наук Украины. Ее исследовательские интересы включают разработку интеллектуальных информационных систем; теорию поведения программных агентов, индуктивное извлечение знаний, семантический поиск в Web, онтологический анализ, технологий Semantic Web.

Она является автором более 150 публикаций, в том числе монографии «Агентные технологии».

**Rogushina Julia Vitalievna** (b. 1967). She received the M.Sc. from Kiev Taras Shevchenko State University in 1989. She received her PhD degree in Computer Science in Glushkov`s Institute of Cybernetics, Kiev, in 1995. She is a senior researcher at the Institute of Software Systems, National Academy of Sciences of Ukraine. Her research interests include the development and application of intelligent information systems; theory of software agents behavior, inductive knowledge acquisition, intelligent information retrieval, ontological analysis, Semantic Web technologies. She has more than 150 publications in scientific journals and conferences, monograph «Agent technologies».

УДК 001.8:004.7

## ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ

Д.В. Ландэ<sup>1</sup>, А.А. Снарский<sup>2</sup>*Институт проблем регистрации информации НАН Украины, г. Киев, Украина*<sup>1</sup>*dwlande@gmail.com*, <sup>2</sup>*asnarskii@gmail.com*

### Аннотация

Описывается методика построения сети естественных иерархий терминов на основе анализа массива текстов по выбранной проблематике. Данная сеть формируется в автоматическом режиме на основе обучающей коллекции текстов и может рассматриваться как основа для построения терминологических онтологий. Методика базируется на применении компактифицированных графов горизонтальной видимости для терминов – отдельных слов, биграмм и триграмм, а также на установлении связей между терминами. Предложенная авторами сеть естественных иерархий терминов охватывает связи типа «общее-частное» и может рассматриваться как основа построения сети с ассоциативными связями. Рассмотрена сеть естественных иерархий терминов, сформированная на основе полных текстов научно-популярных статей. Предложено использование алгоритма HTS для данной сети, с помощью которого обеспечивается выбор наилучших «авторов» – узлов, на которые введут ссылки, и «посредников» – узлов, от которых идут ссылки цитирования.

**Ключевые слова:** языковая сеть, сеть иерархии терминов, текстовый корпус, контекстные связи, ассоциативные связи

### Введение

Для решения задачи построения терминологической онтологии предметной области требуется проведение комплексных исследований, определённым этапом которых является построение так называемых словарных номенклатур, предметных словарей, тезаурусов. Эффективный автоматический отбор отдельных терминов для таких конструкций – нерешенная окончательно задача, а проблема установления связей, автоматического построения сетей из таких терминов до сих пор остается открытой.

Как терминологическую основу для формирования онтологии предлагается использовать сеть естественной иерархии терминов, которая базируется на информационно-значимых элементах текста [1], методология выявления которых приведена в [2]. Опорные термины, как правило, выбираются с учетом такого свойства, как дискриминантная сила. Однако одного этого свойства часто недостаточно для качественного отражения содержания предметной области. Иногда слова с низкой дискриминантной силой, например, наиболее частотные слова из выбранной предметной области (например, слова «Android», «IOS», «Приложение» в корпусе текстов по тематике современных гаджетов) оказываются важнейшими для рассматриваемой задачи.

### 1 Постановка задачи

Как подход к решению актуальной задачи построения терминологической онтологии, в данной работе рассматриваются принципы и методика формирования сети естественных иерархий терминов (СЕИТ), базирующейся на контенте научно-популярных статей выбранной направленности [3, 4]. «Естественность» иерархий терминов в этом случае понимается как отказ при формировании сети от методов смыслового анализа текстов, ограничиваясь факти-

чески статистическим анализом. Связи в такой сети определяются естественным взаимным положением слов и словосочетаний из текстов. Такая сеть, создаваемая полностью автоматически, может рассматриваться как основа для дальнейшего автоматизированного формирования терминологической онтологии с участием экспертов.

## 2 Методы решения

### 2.1 Формирование сети естественных иерархий терминов

Методика формирования сети естественных иерархий терминов, представленная в данной работе, предусматривает реализацию последовательности шагов, которые рассмотрим подробно.

- 1) на первом этапе формируется исходный текстовый корпус. Как пример такого корпуса рассматриваются полные тексты научно-популярных статей, опубликованных на веб-сайте «Компьютерра онлайн» (<http://www.computerra.ru>), посвященных проблематике мобильных устройств, представленных на русском языке. В состав текстового корпуса было включено около 230 статей общим объемом свыше 800 тыс. символов. Предварительная обработка такого текстового корпуса предусматривала выделение фрагментов текстов (отдельных статей, абзацев, предложений, слов), исключение нетекстовых символов, отсечение флексивных окончаний.
- 2) на втором этапе каждому отдельному термину из текста (слову, биграммe или триграмме) ставится в соответствие оценка их «дискриминантной силы» (TFIDF<sup>1</sup>), которая в каноническом виде впервые была предложена Г. Солтоном. Эта оценка равна произведению частоты соответствующего термина (Term Frequency) во фрагменте текста и двоичного логарифма величины, обратной к количеству фрагментов текста, в которых этот термин встретился (Inverse Document Frequency) [5]. Для последовательностей терминов и их весовых значений по TFIDF строятся компактифицированные графы горизонтальной видимости (КГГВ) и выполняется переопределение весовых значений слов уже по этому алгоритму. Данная процедура позволяет учитывать в дальнейшем, кроме терминов с большой дискриминантной силой, также высокочастотные термины, которые имеют большое значение для общей тематики. В соответствии с [4], сеть слов с использованием алгоритма горизонтальной видимости строится также в три этапа. На первом на горизонтальной оси отмечается ряд узлов, каждый из которых соответствует словам в порядке появления в тексте, а по вертикальной оси откладываются весовые численные оценки TFIDF. На втором этапе строится традиционный граф горизонтальной видимости [6]. Между узлами существует связь, если они находятся в «прямой видимости», т.е. если их можно соединить горизонтальной линией, не пересекающей никакую другую вертикальную линию. На третьем, заключительном этапе, сеть компактифицируется. Все узлы с одним и тем же словом объединяются в один узел, связи таких узлов также объединяются. В качестве весовых оценок отдельных слов в дальнейшем используются степени соответствующих им узлов в КГГВ. После этого все термины текста сортируются по убыванию рассчитанных весовых значений соответствующих узлов КГГВ. Дальнейшему анализу не подлежат термины из так называемого стоп-словаря, являющиеся важными для связности текста, но не несущие информационной нагрузки. Это, как правило, фиксированный набор служебных слов. Используемый в рамках данной работы стоп-словарь был построен на основе различных стоп-словарей, представленных в доступном виде на веб-ресурсах:

<sup>1</sup> TFIDF (от англ. *TF* — *term frequency*, *IDF* — *inverse document frequency*)

- <http://code.google.com/p/stop-words/source/browse/trunk/stop-words/stop-words/stop-words-russian.txt?spec=svn3&r=3>;
- <https://github.com/punbb/langs/blob/master/Russian/stopwords.txt>;
- <http://www.ranks.nl/stopwords/russian.html>;
- <http://trac.mysvn.ru/punbb/punbb/browser/trunk/Russian/stopwords.txt>.

Экспертным методом определяется необходимый размер СЕИТ (число  $N$ ), после чего выбирается соответствующее количество единичных слов, биграмм и триграмм (всего  $N+N+N$  элементов) с наибольшими весовыми значениями по CHVG.

- 3) из отобранных терминов строятся сети естественных иерархий терминов, в которых как узлы рассматриваются сами термины, а связи соответствуют вхождениям одних терминов в другие. На рисунке 1 проиллюстрирован принцип построения связей СЕИТ. Различные геометрические фигуры на этой иллюстрации соответствуют различным словам. Первой строке соответствует выбранное множество единичных слов, второй – множество биграмм, а третьей – множество триграмм. Если единичное слово входит в бигramму или триграмму, или бигramма входит в триграмму, образуется связь, которая обозначается стрелкой. Множество узлов, которым соответствуют термины, и связи образуют трехуровневую сеть естественной иерархии терминов.

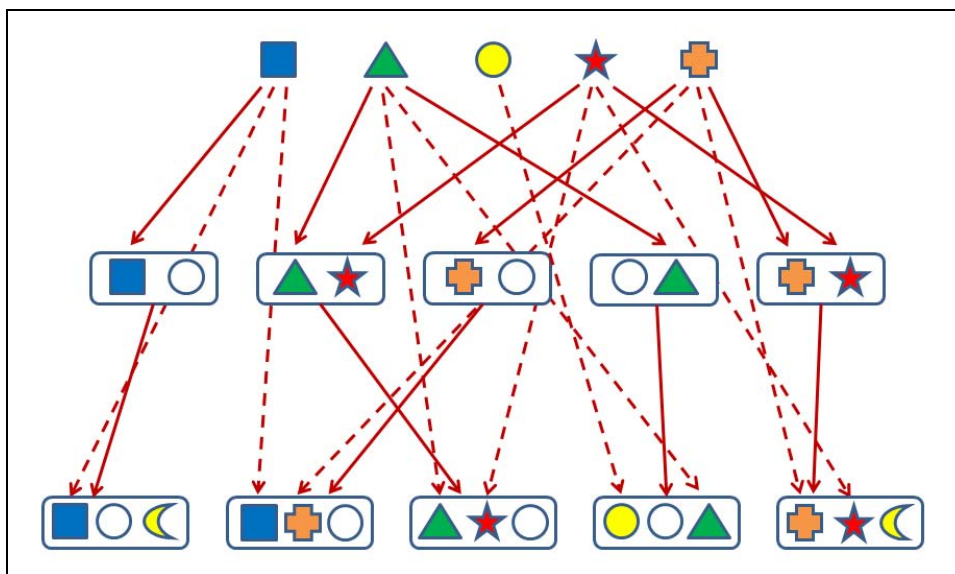


Рисунок 1 – Трехуровневая сеть естественной иерархии терминов

После формирования СЕИТ (построения матрицы инцидентности) осуществляется её отображение программными средствами анализа и визуализации графов. Для загрузки сетей естественных иерархий терминов в базы данных формируется матрица инцидентности общепринятого формата CSV<sup>2</sup> размерностью  $(N+N+N) \times (N+N+N)$  элементов.

На рисунке 2 представлена небольшая сеть естественной иерархии терминов размером  $30+30+30$ , которая визуализирована средствами системы Gephi (<https://gephi.org/>).

На рисунке 3 приведены отдельные фрагменты более крупной сети естественной иерархии терминов размером  $200+200+200$ .

<sup>2</sup> Текстовый формат **CSV** (от англ. *Comma-Separated Values* — значения, разделённые запятыми) — формат для представления табличных данных. Значения отдельных столбцов разделяются символами: запятой, точкой с запятой или двоеточием. Под CSV, как правило, понимают набор значений, разделённых какими угодно разделителями, в какой угодно кодировке с какими угодно окончаниями строк.

## 2.2 Ранжирование узлов СЕИТ

Ранжирование узлов в СЕИТ возможно также по свойствам, обуславливаемым сетевой структурой, связями. Например, для определения авторитетности узла как слова – источника порождения словосочетаний или как составного термина, состоящего из отдельных важных слов, можно анализировать СЕИТ, выбирая при этом наиболее важных «авторов» или «посредников». Для решения этой задачи предлагается использовать известный алгоритм ранжирования веб-страниц, основанных на связях - HITS (hyperlink induced topic search), предложенный Дж. Клейнбергом [7].

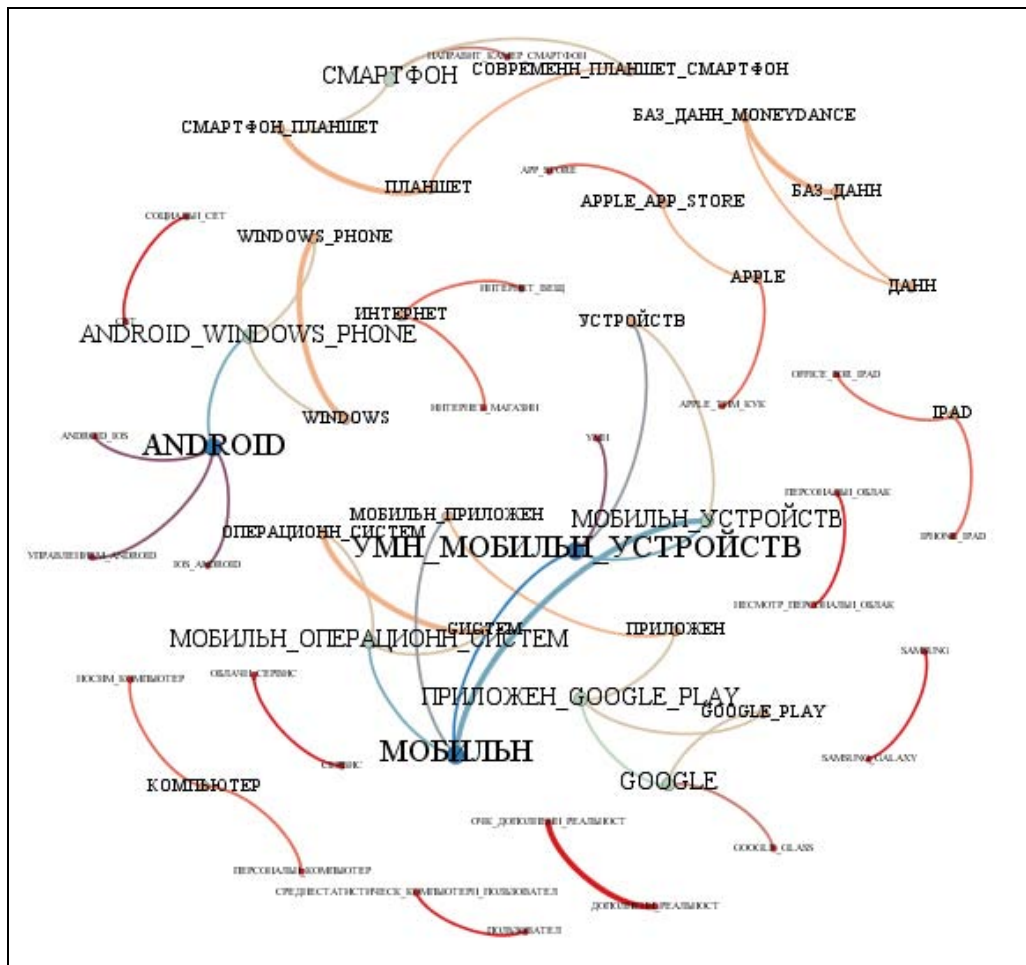


Рисунок 2 – Визуализация связанного фрагмента СЕИТ размером 30+30+30

Алгоритм HITS обеспечивает выбор из информационного массива лучших «авторов» (узлов, на которые введут ссылки) и «посредников» (узлов, от которых идут ссылки цитирования). Понятно, что в нашем случае термин является хорошим посредником, если от него идут связи на важные словосочетания, и наоборот, термин (словосочетание) является хорошим автором, если на него ведут связи от важных авторов. В соответствии с алгоритмом HITS в нашем случае для каждого узла сети  $v_j$  рекурсивно вычисляется его значимость как автора  $a(v_j)$  и посредника  $h(v_j)$  по формулам:

$$a(v_j) = \sum_i h(v_i); \quad h(v_j) = \sum_i a(v_i).$$

В данных формулах суммирование производится по всем узлам, которые ссылаются (или на которые ссылаются – во второй формуле) на данный узел.

Наиболее интересными с семантической точки зрения в рассматриваемой СЕИТ оказались узлы с наибольшим значением авторства и посредничества. В таблице 1 приведены термины, соответствующие таким узлам.

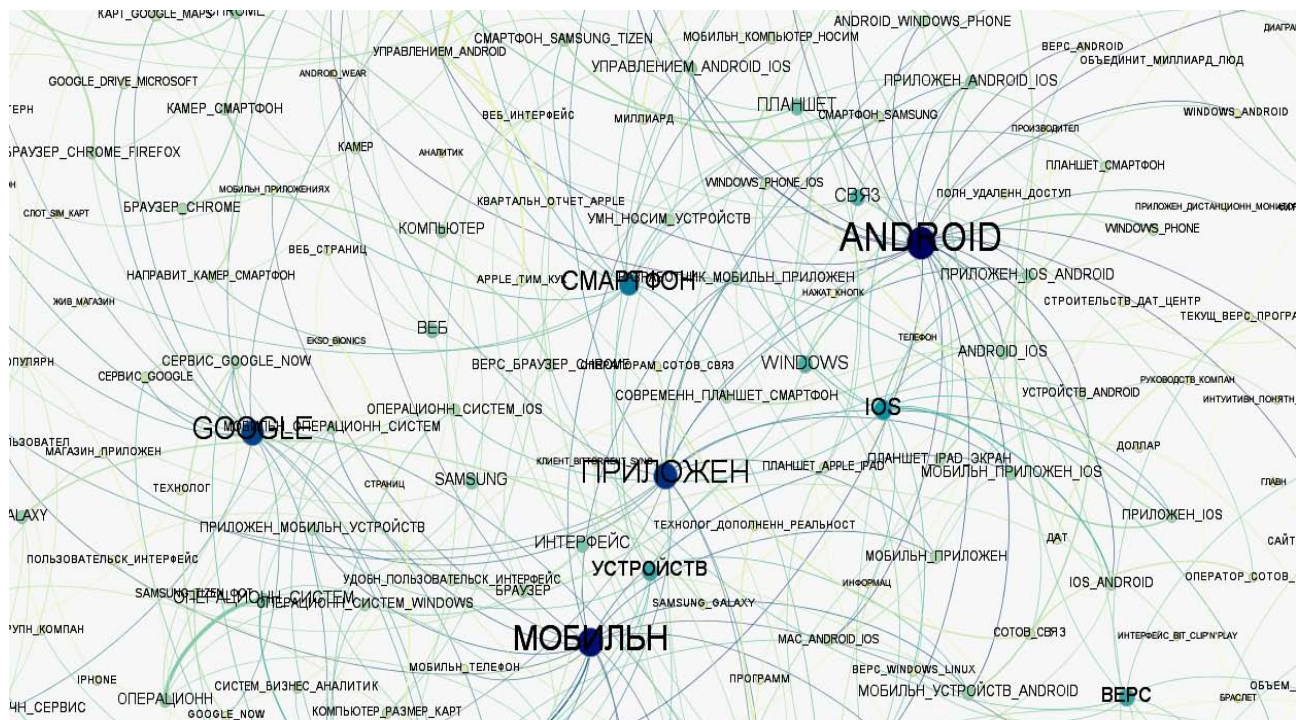


Рисунок 3 – Фрагмент СЕИТ размером 200+200+200

Таблица 1. Термины, соответствующие узлам с наибольшим авторством и посредничеством

№	Термины с наибольшим значением посредничества	Термины с наибольшим значением авторства
1	МОБИЛЬНЫЙ	ПРИЛОЖЕНИЕ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА
2	ANDROID	МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ IOS
3	IOS	МОБИЛЬНАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА
4	СИСТЕМА	ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА ANDROID
5	УСТРОЙСТВО	ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА
6	ОПЕРАЦИОННАЯ	МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ
7	ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА	УМНОЕ МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО
8	МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО	ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА IOS
9	WINDOWS	ПРИЛОЖЕНИЕ ANDROID
10	ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ	ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА WINDOWS
11	УМНЫЙ	МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО
12	ПРИЛОЖЕНИЕ ANDROID	МОБИЛЬНЫЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ
13	МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ	ПРИЛОЖЕНИЕ GOOGLE_PLAY
14	GOOGLE	ANDROID WINDOWS PHONE
15	ВЕРСИЯ	МОБИЛЬНЫЙ ТЕЛЕФОН

Представления об информационной значимости наборов терминов для построения СЕИТ, степени их важности для отражения смысла научного текста были подтверждены в





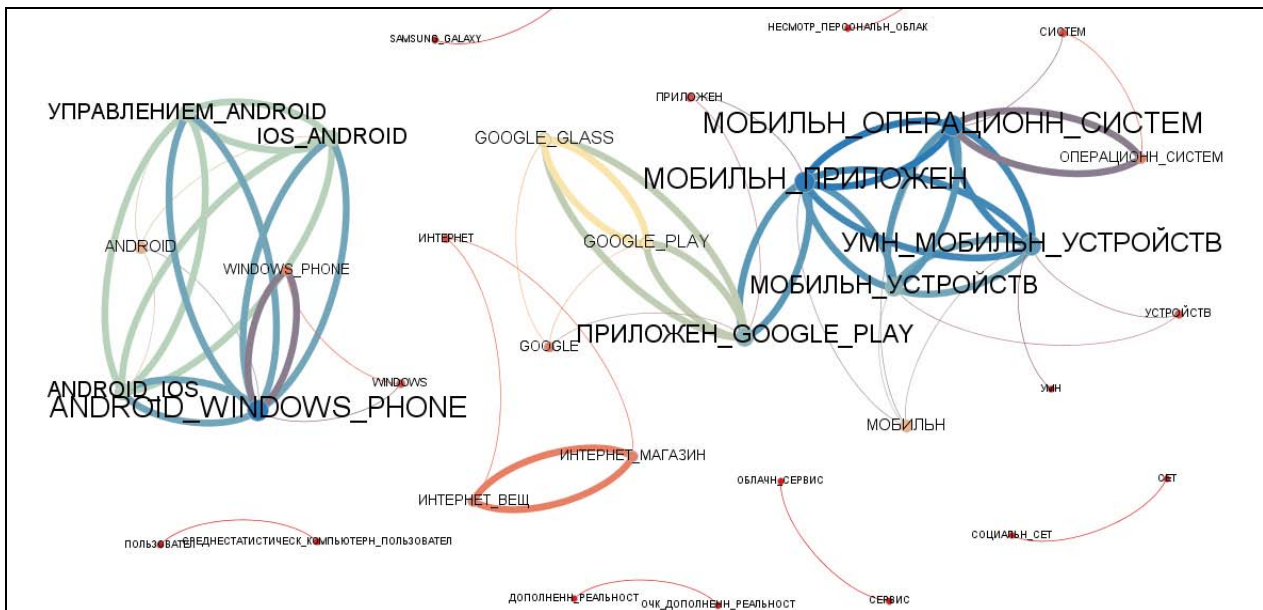


Рисунок 7 - Фрагмент СЕИТ размером 30+30+30 с ассоциативными связями 2-го рода

## Заключение

Таким образом, в данной статье:

- предложен алгоритм построения СЕИТ на основе анализа текстовых корпусов;
- на основании этого алгоритма по текстам научных статей по проблематике мобильных устройств построена сеть естественной иерархии терминов;
- предложен и обоснован алгоритм построения ассоциативных связей 1-го и 2-го рода между терминами в СЕИТ;
- предложено использование алгоритма HITS для выбора важнейших элементов СЕИТ;
- выбраны программные средства визуализации СЕИТ.

Сеть языка, автоматически построенную с помощью предложенного алгоритма с использованием относительно небольшого тематического текстового корпуса, можно использовать в качестве основы для построения онтологии предметной области (в рассмотренном примере – по проблематике мобильных устройств). Кроме того, данную СЕИТ можно использовать на практике в качестве готового к применению средства навигации в информационных массивах, а также для организации контекстных подсказок пользователям информационно-поисковых систем.

## Список источников

- [1] *Yagunova E., D. Lande D.* Dynamic Frequency Features as the Basis for the Structural Description of Diverse Linguistic Objects // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 14th All-Russian Scientific Conference "Digital libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections" Pereslavl-Zalessky, Russia, October 15-18, 2012. – P. 150-159.
- [2] *Lande D.V., Snarskii A.A., Yagunova E.V., Pronoza E.V.* The Use of Horizontal Visibility Graphs to Identify the Words that Define the Informational Structure of a Text // 12th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, 2013. – P. 209-215.
- [3] *Lande D.V., Snarskii A.A.* Compactified Horizontal Visibility Graph for the Language Network // E-preprint ArXiv 1302.4619. - <http://poiskbook.kiev.ua/art/arxiv1302.4619/chvg.pdf>

- [4] **Lande D.V.** Building of Networks of Natural Hierarchies of Terms Based on Analysis of Texts Corpora // E-preprint ArXiv 1405.6068 - <http://dwl.kiev.ua/art/arxiv1405.6068/1405.6068.pdf>
- [5] **Salton G., McGill M.J.** Introduction to Modern Information Retrieval. – New York: McGraw-Hill, 1983. – 448 p.
- [6] **Luque B., Lacasa L., Ballesteros F., Luque J.** Horizontal visibility graphs: Exact results for random time series // Phys. Review E, 2009. – P. 046103-1 – 046103-11.
- [7] **Kleinberg J.** Authoritative sources in a hyperlinked environment // In Processing of ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 1998, 46(5):604-632.
- [8] **Ягунова, Е.В.** Эксперимент и вычисления в анализе ключевых слов художественного текста / Е.В. Ягунова // Сборник научных трудов кафедры иностранных языков и философии ПНЦ УрО РАН. Вып. 1: Философия языка. Лингвистика. Лингводидактика. – Пермь, 2010. — С. 85-91.

## APPROACH TO THE CREATION OF TERMINOLOGICAL ONTOLOGIES

**D.V. Lande<sup>1</sup>, A.A. Snarskii<sup>2</sup>**

*Institute of data recording problems NAN Ukraine, Kiev, Ukraine*

*<sup>1</sup>dwlande@gmail.com, <sup>2</sup>asnarskii@gmail.com*

The technique for creating networks of natural hierarchies of terms based on the analysis of chosen sets of texts on selected issues is offered. The network is formed automatically on the basis of the teaching collection of texts and can be considered as the basis for the design of terminological ontologies. The technique is based on the methodology of horizontal visibility graphs for individual words, bigrams and trigrams, as well as establishing links between the terms. The network of natural hierarchies of terms covers connection "general-private" type and can be considered as a basis of creation of networks with associative links. Designed and investigated language network, formed on the basis of full texts of popular scientific papers is reviewed. Use of HITS algorithm for this network is proposed. The named algorithm makes the choice of the best "authors" – nodes that have the most citations, and "intermediaries" – nodes that establish the biggest number of citation links is offered.

**Key words:** *Language network, Networks of hierarchies of terms, vitality, Text corpora, Contextual links, Associative links, Terminological ontologies.*

### References

- [1] **Yagunova E., D. Lande D.** Dynamic Frequency Features as the Basis for the Structural Description of Diverse Linguistic Objects // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 14th All-Russian Scientific Conference "Digital libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections" Pereslavl-Zalessky, Russia, October 15-18, 2012. – P. 150-159.
- [2] **Lande D.V., Snarskii A.A., Yagunova E.V., Pronoza E.V.** The Use of Horizontal Visibility Graphs to Identify the Words that Define the Informational Structure of a Text // 12th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, 2013. – P. 209-215.
- [3] **Lande D.V., Snarskii A.A.** Compactified Horizontal Visibility Graph for the Language Network // E-preprint ArXiv 1302.4619. - <http://poiskbook.kiev.ua/art/arxiv1302.4619/chvg.pdf>
- [4] **Lande D.V.** Building of Networks of Natural Hierarchies of Terms Based on Analysis of Texts Corpora // E-preprint ArXiv 1405.6068 - <http://dwl.kiev.ua/art/arxiv1405.6068/1405.6068.pdf>
- [5] **Salton G., McGill M.J.** Introduction to Modern Information Retrieval. – New York: McGraw-Hill, 1983. – 448 p.
- [6] **Luque B., Lacasa L., Ballesteros F., Luque J.** Horizontal visibility graphs: Exact results for random time series // Phys. Review E, 2009. – P. 046103-1 – 046103-11.
- [7] **Kleinberg J.** Authoritative sources in a hyperlinked environment // In Processing of ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 1998, 46(5):604-632.
- [8] **Yagunova E.V.** Eksperiment i vychisleniya v analize klyuchevykh slov khudozhestvennogo teksta [Experiment and calculations in the keywords analysis of an artistic text] // Sbornik nauchnykh trudov kafedry inostrannykh yazykov i filosofii PNTS UrO RAN. Filosofiya yazyka. Lingvistika. Lingvodidaktika. [Collection of scientific papers of the department of foreign languages of PSC UrD RAS. Philosophy of language. Linvistics. lingvodidactics]– Perm, 2010. – Issue 1. – pp. 85-91. (In Russian).

## Сведения об авторах



**Ландэ Дмитрий Владимирович**, 1959 г. рождения. Окончил в 1981 г. механико-математический факультет Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, д.т.н. (2006). Заведующий отделом специализированных средств моделирования Института проблем регистрации информации НАН Украины, профессор Национального технического университета «Киевский политехнический институт». Член Российской ассоциации искусственного интеллекта, академик Российской академии естествознания (РАЕ). В списке научных трудов более 200 работ в области информационного поиска, динамики информационных потоков.

**Dmitry Vladimirovich Lande** (b. 1959) graduated from the Shevchenko Kiev State University, faculty of mechanics and mathematics in 1981, Dr. of Science (2006). He is department head of the Institute for data recording problems NAS Ukraine, professor at National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”. He is a member of Russian Association for Artificial Intelligence (RAAI), full member of the Russian Academy of Natural History (RANH). He is co-author of over 200 scientific articles, books and abstracts in the field of information retrieval and information flows dynamics.



**Снарский Андрей Александрович**, 1949 г. рождения. Окончил в 1972 г. физический факультет Черновицкого государственного университета, д.ф.-м.н. (1991). Профессор кафедры общей и теоретической физики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Академик Международной академии термоэлектричества. Член-корреспондент Международной академии холода. В списке научных трудов более 200 работ в области термоэлектричества, теории протекания, методов детерминированного хаоса.

**Andrei Alexandrovich Snarskii** (b. 1949) graduated from the Chernovtsi State University, faculty of physics in 1972, Dr. of Science (1991). He is professor at National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”, Department of General and Theoretical Physics. He is an International Academy of thermoelectricity (IAT) full member, corresponding member of the International Academy of Refrigeration (IAR). He is co-author of over 200 scientific articles, books and abstracts in the field of thermoelectricity, percolation theory, methods of deterministic chaos.

УДК 629.78

## MULTI-AGENT SCHEDULING OF COMMUNICATION SESSIONS BETWEEN MICROSATELLITES AND GROUND STATIONS NETWORK

P.O. Skobelev<sup>1,4</sup>, A.B. Ivanov<sup>2</sup>, E.V. Simonova<sup>3,4</sup>, V.S. Travin<sup>4</sup>, A.A. Jilyaev<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Institute for the Control of Complex Systems of RAS, Samara, Russia  
skobelev@kg.ru

<sup>2</sup> École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland  
anton.ivanov@epfl.ch

<sup>3</sup> Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia  
simonova.elena.v@gmail.com

<sup>4</sup> Software Engineering Company "Smart Solutions", Ltd, Samara, Russia  
travin@smartsolutions-123.ru

### Abstract

The problem of constructing an effective mechanism for rapid transmission of data between microsatellites and network of ground stations in the dynamically changing environment is considered. The main target of the developed system is to ensure the efficient data transfer from group of microsatellites to the ground stations with a minimum time delay and considering current limitations on reception by stations. The system must adaptively adjust plans for every station according to new events coming. Multi-agent approach to solving this class of problems is proposed. It is shown that the schedule is constructed as a dynamic balance of interests between stations agents and orders agents. Both types of agents negotiate their position in the schedule and plan their work shifting basic schedule due to the tolerance between actual and preferred start time. The ontology, agents, interaction protocols and key benefits of proposed system are discussed.

**Keywords:** *microsatellite, ground station, multi-agent system, communication session, ontology, data-stream scheduling, agent.*

### Introduction

Recent achievements in the microelectronics and microelectromechanics area allowed reducing the weight of spacecrafts keeping their target characteristics. As the result, a new class of spacecrafts called small-scaled spacecrafts (SSC) has appeared. A stable SSC classification has formed abroad by their weight characteristics: pico-satellites under 1 kg, nano-satellites from 1 to 10 kg, microsatellites from 10 to 100 kg, mini-satellites from 100 to 500 kg and small SC from 500 to 1000 kg. Cost and time reduction needed for development and manufacture of SSC allows the creation of the whole satellite systems, capable of continuous earth surface monitoring, resolve navigation and telecommunication issues. SSC groups creation can dramatically change the set opinion about space systems part and place and considerably expand customer services spot comparing to the ones that are implemented today [1]. On the other hand, SSC number increase in the orbit group results in management systems overload and the necessity of processing big amounts of target information. Under these circumstances, a problem of scheduling the timely data transfer from spacecrafts to the ground stations becomes the most urgent.

A problem description of communicational environment design for data transfer from microsatellites system to the ground geographically distributed infrastructure of data receipt and processing is given in the suggested paper and its solution based on the multi-agent technologies is suggested.

## 1 Problem statement

Let there be given a set of microsatellites that belong to different types of users (e.g. several universities, ERS operators, etc.) and is focused on getting the information from microsatellites and on data transceiving to the ground stations. Microsatellites number can change in time (some of them break down, the new ones are launched, etc.). Each microsatellite can have constraints of technical, organizational, financial or of any other character on the data transmission to the ground stations that belong to different developers. Therefore there is a group of available stations for data “dump” and the group of constantly (or temporary) unavailable stations.

Moreover, some of the ground stations have an ability to transmit the received information to another station or use Internet resources for interested consumers to access this information. Data dump task is to transmit the specified data amount from one particular microsatellite in a given time period. Data transmission to the ground station should be preceded by a procedure of communication sessions schedule coordination. It is necessary for the implementation of some preliminary work on the station, including the computation of target destinations for complex antenna aiming to a certain spacecraft, preparation of engineering software tools for processing of incoming information.

The main point of the suggested development is to design a mechanism providing a possibility for microsatellites to transmit data to ground stations system with constraints, including the unexpected ones. Duration of communication sessions between microsatellites and ground stations is one of the key factors that affect monitoring performance and data delivery efficiency. Therefore, data delivery to the ground stations program optimization directly influences system efficiency as a whole.

System’s purpose is to provide the efficient data dump from microsatellites group in a way for it to happen at the required time with the minimum delay from the moment of on-board data receipt and with regard of current receipt constraints. At the same time, system should adaptively correct the built schedule for each station, considering the arising events: shooting schedule changes on microsatellite board, its failure, station equipment failure, another user request on data receipt form one of the microsatellites, etc. If unexpected events have occurred on one of the ground stations, its tasks should be redistributed between other stations of the network.

Task of data transmission scheduling between many microsatellites and ground stations can be formulated in the following way. There must be provided data flow  $\Phi$  maximization in the microsatellites system  $N$  on the time horizon  $T$  for  $M$  stations:

$$\Phi = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \int_0^T rate_{ij}(t) \cdot link_{ij}(t) \cdot schedule_{ij}(t) dt,$$

where  $rate_{ij}(t)$  is a speed of data transfer from microsatellite  $i$  to ground station  $j$ ,  $link_{ij}(t)$  is a mutual data transfer efficiency from microsatellite to ground station,  $schedule_{ij}(t)$  – data transfer schedule, built considering mutual visibility of stations and microsatellites.

Therefore, a solution of the given problem requires coordinated scheduling of works in the stations and microsatellites network.

## 2 Description of multi-agent approach to problem solving

Multi-agent technologies that allow to solve complex problems by means of self-organization of competing and cooperating agents, can be used as a basis for the given task solution [2, 3].

When scheduling communication sessions, a concept of demand-resource networks (DRN) is applied, where each schedule is designed as a flexible (rebuilt by the events) network of demand (problem) and resource agents connections. It is based on the principle of the joint interest of all the

participants in the solutions profitable for each of them and for the system as a whole. At the same time, worsening of one participant's position can be compensated at other participants' expense in the interest of the group if it leads to the group benefit in general.

Basic principles of suggested multi-agent approach to adaptive scheduling can be formulated as follows:

- Dataflow from every microsatellite for transfer to the ground can be represented as a problem with a certain starting time, limited ending time, volume and priority.
- Each task and ground station gets their own program agents that have individual schedules.
- Task agent defines the requirements and constraints for scheduling, according to its capacity and preferable execution time.
- If at the attempt to schedule an appropriate ground station is occupied by another task, then a conflict is stated and negotiations start to resolve it by tasks shifts in time or their reallocation to other stations.
- The key rule of schedule changes confirmation is the condition that the sum of the improvements is bigger than sum of deteriorations, caused by a new event in the interests of the system as a whole for works execution.
- Even after solving the problem, agent does not stop and keeps trying to improve its position (while he has the time to solve the problem).

Therefore, the final schedule is built as a dynamic balance of interests of tasks and stations agents that negotiate for their position in the network schedule and plan their work by shifting, based on acceptable deviations of tasks implementation starting time from the desired time.

### **3 Multi-agent scheduling system development**

To consider the domain area specifics and problem specifics of scheduling data flow between the set of microsatellites and ground stations there have been developed an ontology structure and its fragment is shown in the Figure 1. According to this structure, each ground station has an individual schedule where planned communication sessions with microsatellites and station operation schedule are displayed. Each communication session is characterized by priority, duration, performance status and time period when it need to be executed. Communication sessions can be possible only in certain time intervals, during which a direct visibility between a microsatellite and a station is maintained.

Each ground station is associated with a resource agent. Resource agent's purpose is the thickest jobs scheduling with the preference of scheduling tasks of "its own" microsatellites and providing minimum downtime of the equipment. Each communication session is associated with a problem agent. Problem agent purpose is to allocate to the best for him ground station, which parameters satisfy problem constraints. Problem agent can react to the events, addition/removal of ground stations and other problems allocation cancellations. A special scene agent that is responsible for the interaction with the system user performs problems registration and cancellation.

To consider the cost component, agents' virtual market is introduced, where all process characteristics are expressed in virtual money equivalents. Each agent has an objective and penalty function. Objective function represents satisfaction of the agent depending on the achievement of the set goal. Penalty function sets a bonus or a fine for one or another objective function value. At the same time, it allows to set the acceptable values intervals for scheduling where it is necessary by setting an intentionally unacceptable fine amount in the unacceptable values area.

Each agent tries to maximize its satisfaction and increases the profit that he can spend like "energy" for shifting other agents in the case of a conflict, which he tries to resolve in the interests

of the system as a whole. Scheduling problem is solved iteratively by the gradual increase (local improvement) of the objective functions values of each agent.

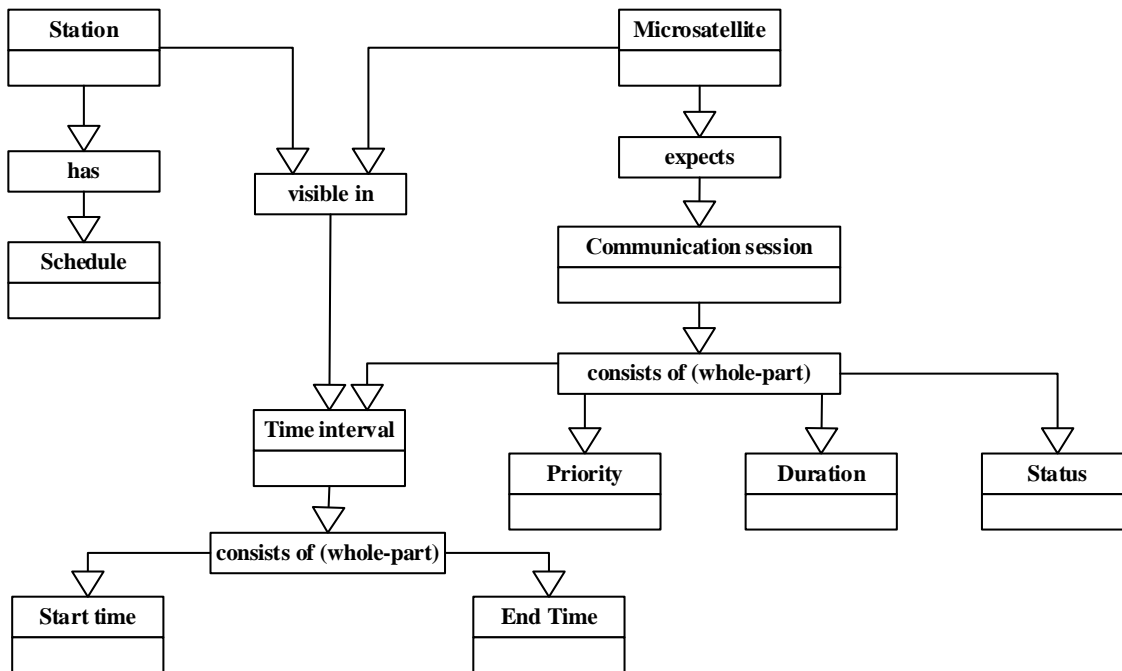


Figure 1 – Ontology fragment of the multi-agent system for communication sessions scheduling

When the problem is initialized it is given the initial sum of virtual money according to its priority. This money can be used as a payment for allocation on the chosen resource and for the compensation of the expenses of the tasks shifted during the allocation. Objective and penalty functions are built considering time constraints on the deadlines for the problem agent and considering the loading on the certain scheduling interval fort the resource agent (Figure 2).

Each agent tries to maximize its satisfaction and increases the profit that he can spend like “energy” for shifting other agents in the case of a conflict, which he tries to resolve in the interests of the system as a whole. Scheduling problem is solved iteratively by the gradual increase (local improvement) of the objective functions values of each agent.

When the problem is initialized it is given the initial sum of virtual money according to its priority. This money can be used as a payment for allocation on the chosen resource and for the compensation of the expenses of the tasks shifted during the allocation. Objective and penalty functions are built considering time constraints on the deadlines for the problem agent and considering the loading on the certain scheduling interval fort the resource agent (Figure 2).

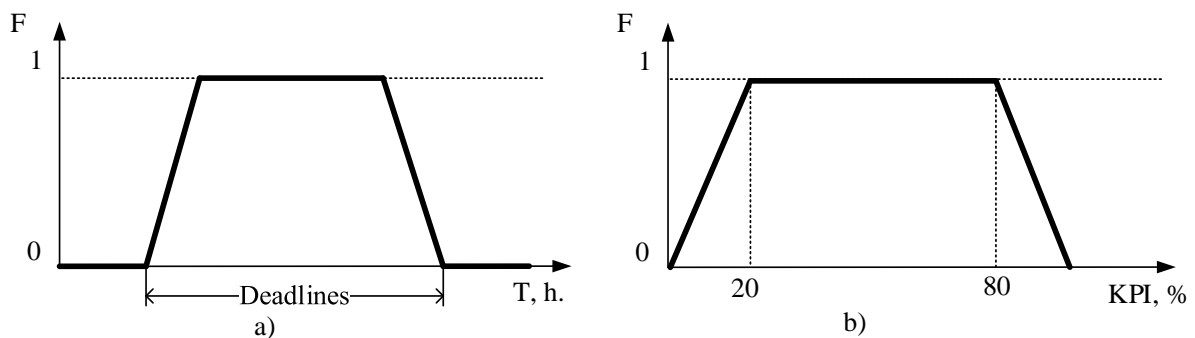


Figure 2 - An example of the problem (on the left) and resource (on the right) objective function



Scheduling process includes two stages:

1) Primal initialization of problems allocation to the resources considering preferences and time constraints;

2) Profit proactive improvement from the tasks by rescheduling.

Agent interaction protocol in the primal initialization of problem allocation is shown in the Figure 3. This protocol is a Contract Net Interaction Protocol implementation, specified by the FIPA standard [4]. Arrived task agent defines a list of available and appropriate agents for the ground stations allocation and then it sends a message-request CFP (Call for Proposal) to each of them, which contains satellite name and time interval, during which a communication session should be scheduled.

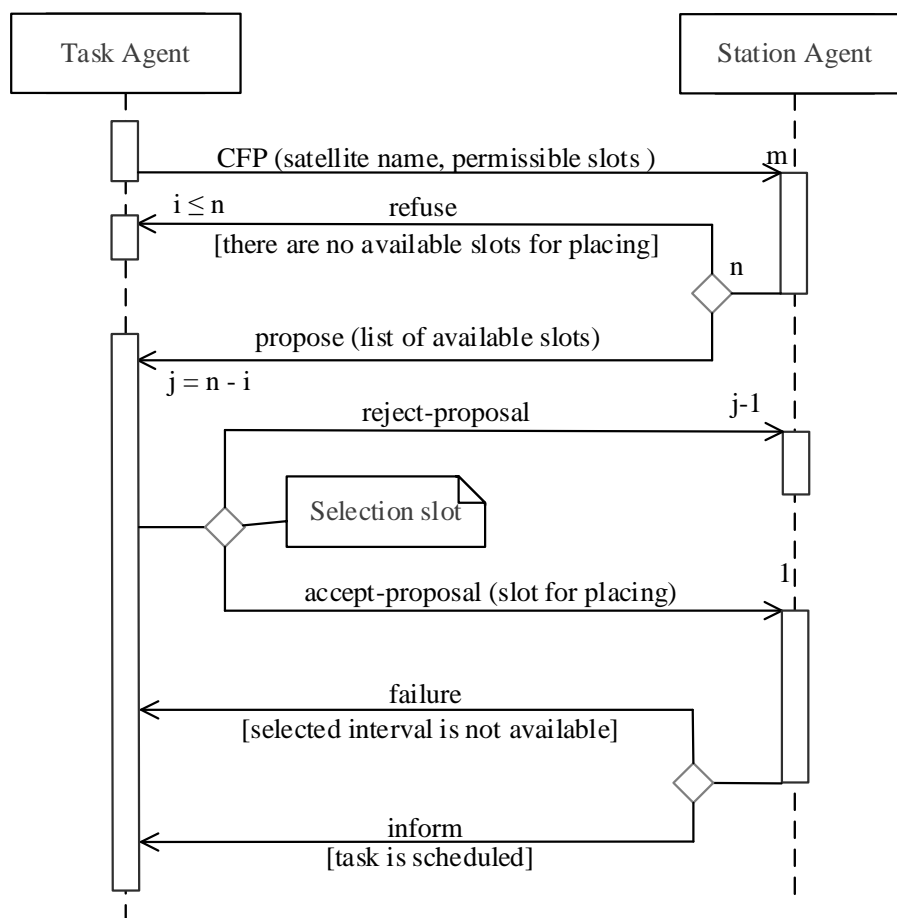


Figure 3 - Agent interaction protocol in case of a new task arrival

Each ground station agent that received this message, performs a visibility intervals analysis of the specified microsatellite in the specified time slot. The calculations are only performed on request, because visibility intervals calculation between microsatellite and a station is a resourceful operation. Then from the obtained list of the possible task allocation intervals those time slots are excluded during which station is busy executing other tasks according to its schedule. If there are no time slots available for allocation, station agent sends a response *refuse*, otherwise – message *propose* that contains a list of the available intervals.

When task agent receives response messages, it finds the best allocation option according to its objective function and then it sends an *accept-proposal* message to the station agent that suggested this option. This message contains scheduling time slot, defined by the task, that depends on the

starting time and communication session duration. The rest of the station agents receive a *reject-proposal* message

When station agent receives an *accept-proposal* message, it checks the specified scheduling time slot for occupation by other tasks. If the interval is free then a responding message *inform* is sent, resource agent gets a payment for the allocation and task information is recorded in the schedule. Otherwise, a *failure* message is sent and when task agent receives it, it tries to be allocated on the other resource.

Then an algorithm of proactive improvement of task agent satisfaction is initiated. Task agent with the smallest objective function value starts the improvement process first. Proactive task questions the appropriate resources, defining the allocation cost in the different schedule parts. Two closest tasks on the left and on the right sides from the middle of the interval for scheduled task are chosen, among the tasks that were scheduled in the considered time slot. Agents of these tasks receive a request on shift on the specified time. Recursive shifting of the tasks affected by the shift continues until one of the tasks can move to the new position without obstacles, the displacing task still have means to compensate the expenses or a counter that limits recursion depth equals zero. From the set of possible allocation positions those options are excluded, which confirmation will not let to improve the system objective function value, and the best option is chosen from the ones that are left.

The task that remains unscheduled is put in the list of tasks that wait for the scheduling. New attempt of scheduling these tasks will be made in case of arising events of adding new resources or schedule changes of the existing ones.

The designed system develops models, methods and algorithms that were earlier developed for the multi-agent SSC group management system [5], where the incoming ERS tasks adaptively distribute between SSC with different technical abilities.

## Conclusion

The suggested approach to the communication sessions scheduling allows achieving high operability, flexibility and efficiency in microsatellites and stations network operation, especially with a priori uncertainty in demand and supply changes on microsatellites and ground stations services and high level of dynamics of unexpected events occurrence. Dynamic forming and support of the adequate schedule that was coordinated with all of the participants in negotiations of task and station agents will allow to consider the changing external conditions that are connected with data transfer conditions change, orbit parameters, microsatellites equipment failure, communication channels overload, etc. Moreover, microsatellites and stations operation will be transparent for all participants; it will allow reducing the scheduling workload and mistakes caused by human factor; it will increase the reliability of the designed technics.

## References

- [1] *Makridenko, L., Boyarchuk, K.*, Microsatellites. Development trends. Market specifics and social implication – Access mode: <http://jurnal.vniiem.ru/text/102/2.pdf> (in Russian).
- [2] *Vittikh, V., Skobelev, P.* The compensation method of agents interactions for real time resource allocation / *Avtometriya*, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science, no. 2, 2009. - pp. 78-87.
- [3] *Skobelev, P.* Real-time intelligent resource management systems: design principles, commercialization experience and future development / In Appendix to Theoretical and Application Journal of Information Technologies, no. 1, 2013. - pp. 1-32.
- [4] *Zinchenko O.* Small optical remote sensing satellites – Access mode: <http://www.racurs.ru/?page=710> (in Russian)
- [5] *Sollogub A., Skobelev P., Simonova E., Tzarev A., Stepanov M., Jilyaev A.* Intelligent System for Distributed Problem Solving in Cluster of Small Satellites for Earth Remote Sensing/ *Information and Control Systems*, vol. 1, no. 62, 2013. - pp. 16-26.

## ПЛАНИРОВАНИЕ СЕАНСОВ СВЯЗИ МЕЖДУ МИКРОСПУТНИКАМИ И СЕТЬЮ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

П.О. Скобелев<sup>1,4</sup>, А.Б. Иванов<sup>2</sup>, Е.В. Симонова<sup>3,4</sup>, В.С. Травин<sup>4</sup>, А.А. Жилиев<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия  
skobelev@kg.ru

<sup>2</sup> Федеральная политехническая школа Лозанны, Лозанна, Швейцария  
anton.ivanov@epfl.ch

<sup>3</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия  
simonova.elena.v@gmail.com

<sup>4</sup> Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, Россия  
travin@smartsolutions-123.ru

### Аннотация

Рассматривается задача построения эффективного механизма быстрой передачи данных между микроспутниками и сетью наземных станций в динамично меняющейся среде. Цель разрабатываемой системы – обеспечить эффективную передачу данных с группировки микроспутников в требуемое время, с минимальной задержкой от момента получения информации на борту, с учетом текущих ограничений станции по приёму. При этом система должна адаптивно корректировать построенное для каждой станции расписание с учётом возникающих событий. Предлагается мультиагентный подход к решению данного класса задач. Показано, что расписание строится как динамическое равновесие интересов агентов задач и станций, которые ведут переговоры о своём положении в расписании сети и планируют свою работу за счёт сдвигов, исходя из допустимых отклонений моментов начала выполнения задач от предпочитаемого времени. Описываются онтологии, агенты, протоколы взаимодействия между агентами и основные преимущества предлагаемой системы.

**Ключевые слова:** микроспутник, наземная станция, мультиагентная система, сеанс связи, онтология, планирование потока данных, агент.

### Список источников

- [1] *Макриденко Л.А., Боярчук К.А.* Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение. 18 с. – <http://jurnal.vniiem.ru/text/102/2.pdf>.
- [2] *Vittikh, V., Skobelev, P.* The compensation method of agents interactions for real time resource allocation / Avtometriya, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science, no. 2, 2009. - pp. 78-87.
- [3] *Skobelev, P.* Real-time intelligent resource management systems: design principles, commercialization experience and future development / In Appendix to Theoretical and Application Journal of Information Technologies, no. 1, 2013. - pp. 1-32.
- [4] *Зинченко О.Н.* Малые оптические спутники ДЗЗ - <http://www.racurs.ru/?page=710>
- [5] *Sollogub A., Skobelev P., Simonova E., Tzarev A., Stepanov M., Jilyaev A.* Intelligent System for Distributed Problem Solving in Cluster of Small Satellites for Earth Remote Sensing/ Information and Control Systems, vol. 1, no. 62, 2013. - pp. 16-26.

### Сведения об авторах



**Скобелев Петр Олегович**, 1960 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1983 г., д.т.н. (2003). Ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, профессор кафедры «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, генеральный конструктор Группы компаний «Генезис знаний». В списке научных трудов более 100 работ по мультиагентным системам для решения сложных задач в области логистики, извлечения знаний и др.

**Skobelev Petr Olegovich** (b. 1960) graduated from the Korolyov Aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1983, D. Sc. Eng. (2003). Lead scientist at Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Sciences, holding a part-time position of professor at Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics Knowledge Engineering sub-department, owner, president and chief constructor of Knowledge Genesis Group of companies. He is co-author of more than 100 publications in multi-agent systems for solving complex problems the domain of real time logistics, data mining and other.



**Иванов Антон Борисович**, 1971 г.р. Научный сотрудник Швейцарского Федерального политехнического университета (г. Лозанна), выпускник Московского инженерно-физического института, кандидат наук Калифорнийского технологического университета. Участник программы НАСА по исследованию Марса и участник проекта «Швейцарская космическая обсерватория». Является автором нескольких десятков научных публикаций. Область научных интересов – проектирование космических систем и систем ориентации для микроспутников, сбор космического мусора, изучение экзопланет.

**Ivanov Anton Borisovich** (b. 1971). Scientist of the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). He is graduated from Moscow Engineering Physics Institute, passed a Ph.D. defense of California Institute of Technology. He is the member of the NASA's Mars Exploration program and the participant of the «Swiss Space Observatory» project. He has published dozens of scientific papers. Area of scientific interests – Space Systems Engineering Design and development of an exoplanets observation satellite, space Debris removal satellite, attitude control system development for microsatellites.



**Симонова Елена Витальевна**, 1962 г.р. В 1985 году окончила Куйбышевский авиационный институт по специальности «Автоматизированные системы управления», к.т.н. (1994). Доцент кафедры информационных систем и технологий СГАУ, доцент кафедры инженерии знаний Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, ведущий аналитик ООО «НПК «Разумные решения». Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, онтологическое представление знаний.

**Elena Vitalyevna Simonova** (b. 1962). Graduated from the Kuibyshev Aviation Institute in 1985 with a degree in «Automated Control Systems». Passed a Ph.D. defense in 1994. Holds positions of an associate professor at the department of Information systems and technologies at Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University), an associate professor at the department of knowledge engineering at Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics and a senior analyst at SEC «Smart Solutions». She has published over 100 scientific papers. Area of scientific interests – multi-agent systems for solution of complex problems of resources management, ontological knowledge representation.



**Травин Виталий Сергеевич**, 1985 г.р. Разработчик ООО «НПК «Разумные решения». В 2008 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет) СГАУ по специальности «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах». Является автором 4 научных публикаций. Область научных интересов – мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами.

**Vitaliy Sergeevich Travin** (b. 1985). Graduated from the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University) (SSAU) in 2008 with a degree in «Modeling and operations research in organizational and technical systems». He is a developer at SEC «Smart Solutions» and he has published 4 scientific papers. Area of scientific interests - multi-agent systems for solution of complex problems of resources management.



**Жиляев Алексей Александрович**, 1992 г.р. Студент факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева, разработчик ООО «НПК «Разумные решения». Является автором более 10 научных публикаций. Область научных интересов – мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами.

**Alexey Aleksandrovich Jilyaev** (b. 1992). He is a student of Information science Faculty at Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). He is a developer at SEC «Smart Solutions» and he has published over 10 scientific papers. Area of scientific interests - multi-agent systems for solution of complex problems of resources management.

# Коммюнике онтологического саммита 2014

## Прикладные онтологии в семантической сети и больших данных Semantic Web and Big Data Meets Applied Ontology<sup>1</sup>



### OntologySummit2014 Communiqué

**Lead Editors:** Michael Gruninger, Leo Obrst

**CoEditors:** Ken Baclawski, Mike Bennett, Dan Brickley, Gary BergCross, Pascal Hitzler, Krzysztof Janowicz, Christine Kapp, Oliver Kutz, Christoph Lange, Anatoly Levenchuk, Francesca Quattri, Alan Rector, Todd Schneider, Simon Spero, Anne Thessen, Marcela Vegetti, Amanda Vizedom, Andrea Westerinen, Matthew West, Peter Yim.

Beth Di Giulian, Bobbin Teegarden, Corey Leong, David Blevins, Deborah Nichols, Dennis Wisnosky, Ed Bernot, Elizabeth Florescu, Gail Hodge, Gilberto Fragoso, Hans Polzer, Mark Underwood, Michael Barnett, Michael Uschold, Patrick Cassidy, Pavithra Kenjige, Quentin Reul, Ravi Sharma, Shima Dastgheib, Stephane Fellah, Steve Ray, Terry Longstreth, James Solderitsch, Frank Olken, Naicong Li, Ali Hashemi, Matthew Kaufman, Katherine Goodier, Barry Smith, Malek Ben Salem, Uri Shani, Maria Poveda Villalon, Laura Daniele, Carlos Toro, Dagobert Soergel, Michael Riben, Marcia Zeng, Doug Holmes, Khalil Ben Mohamed, John Yanosy, Ranjith Kanimozhi, John Bateman, Nikolay Borgest, Oscar Corcho, Mara Abel, Torsten Hahmann, Adam Goldstein, Frank Loebe, Nathalie Aussenac Gilles, Oliver Kutz, Hanmin Jung, Michael Fitzmaurice, Mike Dean, John Mc Clure, Sunday Ojo, Jose Maria Garcia, Mitch Kokar, Megan Katsumi, Deborah Mac Pherson, Jens Ortmann, Jack Ring, Harold Boley, Cong Wang, Jie Zheng, Henson Graves, Rex Brooks, Ollie Faison, John Sowa, Vojtech Svatek, Yuh Jong Hu, Chih Hong Sun, Fabian Neuhaus, Christos Louis, Cyrus Nourani, Mohsen Sadighi Moshkenani, Howard Webb, Pauline Kra, Julita Bermejo Alonso, Leo Meerman, Dickson Lukose, Sameera Abar, Nancy Wiegand, Stefano Borgo, Nicola Guarino, Elisa Kendall

### Резюме

Роль, которую онтологии играют или могут играть в разработке и использовании семантических технологий, получила широкое признание в сообществах Семантической сети (Semantic Web) и Связанных данных (Linked Data). Однако уровень сотрудничества между этими сообществами и сообществом Прикладные онтологии (Applied Ontology) гораздо ниже, чем ожидалось. Поэтому и онтологии, и онтологические методы слабо используются в Больших данных (Big Data) и их приложениях.

Для осмысления сложившегося положения и расширения сотрудничества, онтологический саммит (Ontology Summit 2014) собрал представителей Семантической сети, Связанных данных, Больших данных и Прикладных онтологий для поиска решений трех основных проблем, затрагивающих прикладные онтологии и эти сообщества [1, 2]:

- 1) роль онтологий [в этих сообществах];
- 2) текущее использование онтологий в этих сообществах;
- 3) разработка онтологий и семантическая интеграция.

Задача саммита состояла в том, чтобы идентифицировать и понять:

- a) причины и проблемы (например, масштабируемость), которые препятствуют повторному использованию онтологий в Семантической сети и Связанных данных;
- b) решения, которые могут уменьшить различия между онтологиями сетевыми (on line) и автономными (off line);
- c) способы применения онтологий для преодоления технических «узких мест» в современных приложениях Семантической сети и Больших данных.

В течение четырех месяцев в рамках четырех секций прошло обсуждение практических вопросов с представителями сообществ Семантической сети, Связанных данных и Прикладных онтологий. Каждая секция фокусировалась на различных аспектах тематики саммита этого года:

- (Секция А) исследование совместного доступа и повторно используемых онтологий;
- (Секция В) инструменты, сервисы и методы для всестороннего и эффективного использования онтологий;
- (Секция С) исследование технических «узких мест» и путей их предотвращения и преодоления;
- (Секция D) рассмотрение проблемы разнообразия в Больших данных.

В дополнение к этим четырем секциям был проведен Hackathon<sup>2</sup>, на котором были представлены шесть различных проектов. Все результаты доступны в соответствующих индивидуальных свободных репозиториях: библиотека онлайн-сообщества и онлайн-репозиторий онтологий.

<sup>1</sup> [http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2014\\_Communique](http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2014_Communique). Перевод М.Д. Коровина.

<sup>2</sup> **Хакатон** (англ. *hackathon*, от *hack* (хакер) и *marathon* — марафон) — мероприятие, во время которого специалисты из разных областей разработки программного обеспечения (программисты, дизайнеры, менеджеры) сообща работают над решением какой-либо проблемы. Сегодня хакатоны это просто марафоны программирования. Обычно хакатоны длятся от одного дня до недели. *Примеч.переводчика.*

Коммюнике онтологического саммита 2014 представляет собой отчет оригинальных результатов, в котором сделана попытка объединить подходы различных сообществ и достигнуть согласия относительно обозначенных проблем и выработки рекомендаций по их решению.

## 1. Введение, цель, мотивация

С момента появления семантической сети онтологии играли ключевые роли в разработке и развертывании новых семантических технологий. Однако, за эти годы уровень сотрудничества между сообществами Семантической сети и Прикладных онтологий оказался намного ниже ожидаемого. Что касается применения онтологии в Больших данных, то они получили незначительное распространение и влияние.

Онтологический саммит 2014 обеспечил возможность наведения мостов между сообществами Семантической сети, Связанных данных, Больших данных и Прикладных онтологий. С одной стороны, сообщества Семантической сети, Связанных данных и Больших данных выявляют широкий спектр серьезных проблем (проблемы производительности и масштабируемости и проблема разнообразия в Больших данных) и предлагают технологии (как инструменты автоматизации логического вывода), которые используют онтологии. Важной задачей в сети является понимание данных и информации, распределенной в сети. В отличие от сетевой задачи на небольших онтологиях используются локальные алгоритмы принятия решений, где единственные сетевые аспекты используют IRI<sup>3</sup> как символичные имена, и применяются правила вывода, основанные на открытом (или закрытом) представлении о мире. С другой стороны, сообщество Прикладных онтологий дает большое количество методов онтологического анализа и повторного использования онтологий.

По результатам саммита были выделены три основных направления исследований:

1. Как онтологии фактически используются в приложениях Семантической сети и Больших данных, и в чем состоит отличие от существующих применений онтологий?
2. Как могут сообщества Семантической сети и Больших данных использовать огромное количество уже разработанных и разрабатываемых онтологий?
3. До какой степени автоматизация и инструменты могут помочь преодолеть «узкие места» разработки онтологий?

## 2. Использование онтологий в Больших данных и Семантической сети

Семантические технологии, такие как онтологии и связанные рассуждения играют главную роль в семантической сети и все чаще и чаще применяются для того, чтобы обрабатывать и понимать информацию, выраженную в цифровом формате. Действительно, отделение точного знания от набора разнообразных (и связанных) данных является одной из основных тем Больших данных.

Проблема получения точного знания состоит в том, чтобы создать и использовать общий семантический контент, избегая множества понятий в различных онтологиях. Примерами такого контента являются целые или частичные онтологии, модули онтологий, онтологические шаблоны и архетипы, словари и общие, концептуальные теории, связанные с онтологиями и их адаптацией к проблемной области. Однако, обработка целого или даже частичного общего семантического контента через логическое объединение, сборку, расширение, специализацию, интеграцию, выравнивание и адаптацию длительное время представляла собой проблему. Достижения общности и повторного использования онтологий в установленные сроки и с управляемыми ресурсами остаются ключевыми компонентами для практической разработки взаимодействующих качественных онтологий.

Онтологии имеют широкий диапазон приложений, включая семантическую интеграцию, поддержку принятия решений, поиск, аннотацию и проектирование систем, как описано в структуре использования онтологий в коммюнике онтологического саммита 2011 [3]. Ключевой вопрос состоит в том, как приложения Больших данных и Семантической сети вписываются в эту структуру - какова роль онтологий в этих приложениях, и как используется семантический контент? Существуют также два общих вопроса, возникающих при решении проблем Семантической сети и Больших данных. Первым является характеристика онтологии, а именно, язык представления онтологии и компромисс, существующий между выразительностью этого языка и эффективностью обоснования с использованием онтологии на этом языке. Вторая особенность, которая характеризует проблемы, возникающие с Большими данными и Семантической сетью, появляется в новых направлениях, в которых онтологии используются в больших масштабах.

### 2.1 Как используются онтологии и как они могли бы использоваться?

В Больших данных семантическая интеграция решает проблему разнообразия, поскольку любое программное обеспечение, использующее множественные наборы данных, должно обеспечивать отсутствие семантических несоответствий. Онтологии могут также смягчить разнообразие в Больших данных путем помощи в аннотации данных и метаданных. Наборы данных будут отличаться по полноте метаданных, гранулярности и используемому словарю. Таким образом, онтологии могут частично уменьшить это разнообразие путем нормализации условий и обеспечения отсутствующих метаданных.

Новое многообещающее применение онтологий для аналитики данных – управление происхождением данных. К нему относятся любые преобразования, исследования или интерпретации, выполненные над данными. В настоящее время

<sup>3</sup> IRI (Internationalized Resource Identifier) — интернационализированный идентификатор ресурса. IRI — это короткая последовательность символов, идентифицирующая абстрактный или физический ресурс на любом языке мира. Идентификаторы IRI призваны в будущем заменить URI. *Примеч. переводчика.*

большинство проектов Больших данных обрабатывает происхождение данных лишь ситуационно, а не на системной основе. Онтологии, описывающие происхождение данных, действительно существуют, например, онтология PROV-O [4]. Разработка стандартных онтологий для часто используемых, но неформализованных процессных моделей, таких как цикл OODA [5] и фьюжн-модели JDL/DFIG [6] может оказать значительное влияние на анализ данных. Примером такой формализации является платформа KIDS [7]. Стандартные статистические онтологии обоснования — это еще одна потенциальная сфера успешного применения онтологий.

На глобальном уровне (например, в сети), существует слишком много доменов, для того, чтобы подробно описывать семантику каждого из них. Однако, существующий проект Schema.org занимается глобальной проблемой разработки общепринятого словаря, использующего в настоящее время более пяти миллионов интернет-доменов, и постепенно описывающего все более глубокую семантику. Внедрение онтологий в структуру Schema.org является сложной задачей, но имеет потенциал для получения существенных преимуществ.

Возможность внедрения онтологий в масштабах всей сети маловероятна. Пока проекты, такие как Уотсон (IBM) [8] ограничивают себя несколькими простыми таксономиями, другие большие совместные проекты приходят к соглашению об использовании ограниченного подмножества онтологий, как, например, разделы некоторых онтологий в молекулярной биологии, таких как Генная онтология [9] и другие открытые биологические и биомедицинские онтологии (OBO) [10]. Остро стоит вопрос целесообразности и выполнимости превращения полных наборов Больших данных в онтологии. Это видится нам выполнимой, но трудоемкой задачей. Ручное создание онтологий является трудоемким. Анализ данных, допускающий повторное использование семантического контента, страдает от потенциальной несогласованности, неполноты и лишних данных. Использование машинного обучения для того, чтобы создавать семантический контент из Больших данных может потребовать дальнейших исследований для того, чтобы реализовать формализацию онтологий на основе Больших данных.

Современные способы использования анализа данных текста, статистических, и других аналитических методов на больших данных для обнаружения корреляций и образов могут быть объединены с семантическим контентом, обеспечивающим некоторую семантическую интерпретацию полученных структур. В дальнейшем, связанный семантический контент будет полезен в обработке результатов, и затем поочередно может быть коррелирован и объединен в большие, постоянно растущие семантические структуры, обеспечивая многослойное богатство так называемого «глубокого обучения».

## 2.2 Роль выразительности

Понятие выразительности относится к логическим свойствам языка представления онтологии. Спектр онтологии характеризует диапазон различных языков от RDF, OWL и Формата обмена правилами (RIF) до Common Logic и модальной логики. Важнейшим вопросом и для пользователей онтологии, и для разработчиков, является выбор надлежащего языка и возможности эффективно на нем рассуждать. Фактически, многие ранние дебаты о природе онтологий (т.е. что такое онтология?) происходили от различных ожиданий того, что пользователи хотят от выразительности базового языка представления онтологий.

Существует общепринятое мнение, что различные применения онтологий требуют разных уровней выразительности. Для приложений онтологий, связанных с системами поддержки принятия решений, в которых запросы не известны во время проектирования, выразительность очень важна. С другой стороны, если запросы известны заранее, часто можно создать более строгую онтологию, которая ответит на эти известные запросы с лучшим качеством.

Многочисленная аксиоматизация онтологий на каждом из стандартных языков онтологии будет необходима для соответствия всем требованиям в домене. Разработчики онтологий в целом признают это условие, поэтому некоторые основополагающие онтологии, такие как Декриптивная Онтология для Лингвистической и Познавательной Разработки (DOLCE) [11] и Основная Формальная Онтология (BFO) [12] имеют не только представления, основанные на логике первого порядка, но также и соответствующий более легкий вид представления на OWL с менее строгой (путем снижения выразительности) аксиоматизацией.

Выразительность языка представления онтологии тесно связана с требованиями для любой онтологии, предназначенной для использования в рамках некоторого приложения. RDF, родной язык связанных данных, находит широкое распространение в Больших данных из-за того, что при низком уровне требований к онтологичности позволяет создавать сложные описания. С другой стороны, много традиционных областей применения онтологий, таких как семантическая интеграция и поддержка принятия решений, требуют более выразительных языков, таких как RIF, Common Logic и логическое программирование.

Создание легких онтологий и словарей для семантической сети и приложений больших данных требует нового, быстрого и гибкого инжиниринга. Новый подход «Связанные открытые термины» (LOT) [13] начинается с повторного использования материалов, используя в своих интересах большое число словарей, уже существующих в сети. В случае, если термины, описывающие текущие условия, не обнаруживаются в существующих словарях, инженер по знаниям должен будет создать новые, при этом он должен стараться объединить их с существующими.

Разработчики Уотсона не создавали формальную онтологию мира, которой они бы попытались объединить формальные логические представления вопросов. Вместо этого они локально изучили онтологии по требованию, привлекая формальные, а также неформальные источники, с помощью различных методов обоснования. Во-первых, гипотезы сгенерированы. Во-вторых, получается доказательство для гипотез (подходы включают ключевое слово, соответствующее текстовым источникам на естественном языке). Проблема состоит в том, чтобы снять неоднозначность типов (например, «человек» по сравнению с «место») объектов и предикатов. Эта проблема может быть частично решена с помощью существующих онтологий и баз знаний, таких как YAGO [14].

Отход назад к легким подходам также произошел в области веб-сервисов. Обычно потребитель службы находит веб-сервис, который поставщик услуг зарегистрировал в центральном реестре, и затем взаимодействует с веб-сервисом для его



исполнения. Описания служб семантической сети, в дополнение к основному синтаксическому описанию WSDL, требуются для нахождения и сравнения поставщиков услуг, для согласования и выполнения служб, для их составления, ввода в действие и контроля, а также для того, чтобы обеспечивать взаимодействие неоднородных форматов данных, протоколов и процессов. Традиционно, семантика веб-сервисов описывается с помощью тяжелых онтологий, таких как язык моделирования веб-сервисов (WSMO) [15] или OWL-S [16] на основе выразительных языков онтологии. Эти службы, как предполагается, будут связываться тяжелыми сообщениями XML согласно SOAP. Поскольку подход моделирования «сначала семантика» не получил распространения на практике, и поскольку большинство веб-сервисов в настоящее время реализовано с помощью легких интерфейсов REST, новые подходы вместо этого продвигают более легкие семантические описания веб-сервисов: восходящая аннотация и связывающий подход под названием «Связанный сервис» («Linked Services»). Связанный сервис описан легкими онтологиями, главным образом, с помощью RDFS и нескольких конструкций OWL; например, Связанный объединенный язык описания службы (USDL) [17], реализации USDL с помощью связанных данных [18], которая обобщает Язык описания веб-сервисов (WSDL) [19].

### 2.3 Масштабируемость

Один аспект, в котором приложения и Больших данных, и Семантической сети отличаются от других приложений онтологий – это масштаб рассматриваемых проблем. Вместе с ограничениями производительности, масштабируемость оказывает глубокое влияние на то, как требуемые онтологии представляются и используются. Объединенные требования к размеру и скорости обработки требуют компромиссов между выразительностью языка онтологии и эффективностью механизма принятия решений для этого языка. Разработка крупномасштабных методов обоснования должна облегчить некоторые из этих проблем. Другой подход заключается в использовании гибридных методов, включающих семантический контент онтологии, не требующих явной аксиоматизации онтологии, используемой для принятия решений. Дальнейшее развитие этого подхода предполагает использование легких онтологий, поочередно соединенных с более сложными онтологиями, для включения по требованию (и дополнительно) более точного обоснования гранулированного семантического контента, т.е. помещение в прагматическую практику понятия модульного принципа онтологии.

Масштабируемость относится к использованию онтологий на наборах Больших данных, но также может быть применена к ситуациям, в которых сами онтологии являются слишком большими для стандартных систем обоснования. Даже редактирование и визуализация крупномасштабных онтологий ставят новые проблемы перед существующими инструментами онтологий.

### 2.4 Вопросы

- Какая комбинация разработки онтологии и методов обоснования будет использоваться для решения проблем Больших данных?
- Нужно ли пытаться представлять большие объемы знания с помощью онтологий? Могут ли хотя бы легкие онтологии масштабироваться к Большим данным? Или было бы достаточно, как предлагают в области биологии, использовать онтологии для того, чтобы аннотировать Большие данные терминами?

## 3. Совместно и повторно используемый семантический контент

Повторное использование семантического контента может быть определено как возможность включать контент из одного источника в другой, или просто использовать полезное содержание из некоторого источника. Повторное использование может совпадать с исходными намерениями разработчиков или может расширяться в неожиданных направлениях. Понятие семантического повторного использования подобно повторному использованию в разработке программного обеспечения. Оно требует, чтобы понятия, включая отношения, аксиомы и правила, предположения и выражения контента, соответствовали потребностям и могли быть включены в реализацию разработок пользователя. Повторное использование применяется с подобными целями во всех отраслях, связанных с проектированием: уменьшить трудоемкость разработки и её стоимость (путем минимизации количества труда), повысить привлекательность (увеличить доход от инвестиций) исходного контента и улучшить его качество. Так как распространение повторного использования предполагает, что ошибки идентифицируются и устраняются, возникает эффективный цикл, особенно когда использование разнообразно и все дефекты и изменения полностью задокументированы и объяснены.

### 3.1 Что ограничивает повторное использование онтологий?

С самого начала разработка допускающих повторное использование онтологий с обеспечением совместного доступа была одним из приоритетных направлений в области Прикладных онтологий. Много усилий ушло на разработку основополагающих (верхних) онтологий (таких как DOLCE и BFO) или создание широких моделей предметной области (таких как семантическая сеть для Земли и экологической технологии (SWEET) [20] как средства обеспечения повторного использования. Кроме того, мы в настоящее время видим быстрое развитие (иногда накладывающихся), описанных в экосистеме Связанных открытых словарей (LOV - Linked Open Vocabularies) [21]. Все же процент повторного использования существующих словарей и онтологий кажется нам довольно низким. В этом разделе мы исследуем несколько возможных причин возникновения этой ситуации и определим, создают ли они фундаментальные препятствия повторному использованию онтологий.

#### 3.1.1 Несоответствия и непонимания

Одной из потенциальных причин небольшой частоты повторного использования онтологий является отсутствие подходящей онтологии, т.е. когда разработанные онтологии не удовлетворяют потребностям пользователя с новыми

приложениями. Определение, соответствует ли существующая онтология потребностям пользователя, приводит к обсуждению жизненного цикла онтологии – это тема онтологического саммита 2013<sup>4</sup>, в котором онтологии рассматриваются как спроектированные артефакты в контексте разработки требований, анализа онтологии, проектирования, оценки и развертывания. В частности, пользователи должны понять, как требования для онтологии могут быть выработаны с помощью такого метода, как формирование вопросов компетентности. Существует много возможностей для повторного использования, но сначала должны быть определены область и вопросы её компетентности. Часто повторное использование не работает, потому что оно предпринято до определения требований, базовых понятий и предположений (управляющих созданием контента). В этом случае существует не реальное несоответствие, а непонимание – могут быть онтологии, которые пригодны для повторного использования, но пользователи не понимают, что существующие онтологии действительно фактически соответствуют их потребностям.

Существующие онтологии могут быть не предназначенными для повторного использования и могут быть реализованы способами, делающими повторное использование затруднительным (например, из-за несоответствия между фактической общностью/спецификой понятий и их метками и именами). То, что является подходящим для определенного приложения, может быть более или менее подходящим для способа, которым кто-то намеревается снова использовать эти понятия. Метки, в частности, могут вызвать недоразумения, так как разработчик онтологии, возможно, использовал очень общую метку для понятия, которое является специфическим для контекста другого приложения.

### 3.1.2 Поиск правильной онтологии

Возможно, подходящая онтология существует, но её тяжело найти. Где пользователи могут её найти? Исследования, такие как LOV и открытый репозиторий онтологий (OOR) [23] начинают находить подходы к решению этой проблемы. Конечно, необходимо нечто большее, чем простой реестр онтологий – должны также быть способы, позволяющие организовать и аннотировать онтологии надлежащими метаданными так, чтобы пользователи могли найти онтологии, соответствующие их требованиям (см. предыдущий раздел). В дополнение к понятиям, таким как происхождение (описанным в работе Словарь метаданных онтологии (OMV- Ontology Metadata Vocabulary) [24]), такие метаданные должны будут также включать более широкий диапазон функций. С точки зрения разработки, метаданные должны включать вопросы о компетентности, онтологические обязательства и проектные решения, использовавшиеся в разработке онтологии и существующих отображениях, а также связи с другими онтологиями. С точки зрения реализации, функции должны включать поддержку выводов, языки, правила и соответствие внешним стандартам, системам или приложениям, с которыми использовалась онтология. Наконец, с технической точки зрения, важно включать информацию об оценке, полученной онтологией. Таким образом, метаданные онтологии могут помочь выбрать требуемую онтологию из доступных в репозиториях.

Даже когда потенциальная онтология была найдена для повторного использования, возникает проблема оценки, проверки качества и доверия. Многократное использование онтологии просто потому, что в ней используется подходящий набор ключевых слов, несомненно, приведет к проблемам.

### 3.1.3 Онтология не подходит...

Допустим нужные онтологии существуют, но у них есть проблемы, препятствующие тому, чтобы они были снова использованы для определенных задач. В некоторых случаях существующие онтологии изначально не предназначены для повторного использования и могут быть реализованы способами, делающими повторное использование трудным, включая недостаточную семантическую явность и несоответствия между фактической общностью/спецификой понятий и их метками и именами.

Онтология может быть неполной, т.е. она может не удовлетворять всем требованиям для определенного приложения. Существующие онтологии обычно недостаточны для новой области или приложения и должны быть расширены или изменены. В этом отношении важно помнить роль вопросов о компетентности в выборе онтологии для повторного использования. Если пользователи в состоянии найти совпадение между своими вопросами о компетентности с ответами о компетентности, предоставляемыми существующими онтологиями, они могут лучше определить, как онтологии могут быть снова использованы или расширены для удовлетворения всех требований.

Наконец, онтология может быть на языке представления знаний, который не подходит пользователю, так что, даже если онтология удовлетворяет всем требованиям вопросов компетентности, она может не удовлетворить дополнительным требованиям, являющимся результатом использования онтологии в проектировании информационной системы в целом, её развертывании и работе. В этом случае важно понимать, что повторное использование онтологии может произойти с помощью универсальных языков представления знаний. Например, имея онтологию на выразительном языке, таком как Common Logic, мы можем определить менее выразительные версии или фрагменты онтологии на других языках представления, таких как RIF, OWL и RDF. Каждый из этих фрагментов может тогда быть снова использован более широким спектром приложений. В частности, приложения в Больших данных могут получить положительный результат от использования легких онтологий и методов. Эти представления на менее выразительных языках описания онтологий могут обеспечить локальные онтологические решения, при этом предоставляя преимущества соответствующей семантики при поддержке принятия решений в рамках их намеченного использования. Идея состоит в том, чтобы найти части онтологии для повторного использования, которые имеют соответствующую выразительность.

### 3.1.4 Модульный принцип

Во многих случаях пользователю требуется только часть онтологии, что приводит к появлению проблемы поддержки частичного повторного использования. Очевидный подход к решению этой проблемы – реализация модульного принципа,

<sup>4</sup> См. перевод коммюнике Онтологического саммита 2013 в журнале «Онтология проектирования» № 2(8), 2013

но модуляризация существующих онтологий сама по себе остается трудной проблемой. Разбиение, расширение, специализация, интеграция, выравнивание и адаптация маленьких модульных онтологий должны стать частью методологии разработки онтологий. Подходы, поддерживающие спецификацию отношений между модулями онтологии, такие как OntoOp [25], направлены на решение этих проблем. Репозитории онтологий могут также быть в состоянии предоставить более выраженную поддержку для модуляризации онтологий по мере их загрузки. Разработка онтологий, редактирование и средства просмотра могут поддерживать модульный принцип лучшими эффективными представлениями и работать с наборами модулей онтологии.

### 3.1.5 Интеграция

Повторное использование обычно требует интеграции множественных онтологий, и проблема интеграции может быть столь же трудной, как и разработка новой онтологии. Ключом к решению является создание интеграционных модулей, объединяющих семантику повторно используемых компонентов.

Отображение онтологий играет ключевую роль в повторном использовании, когда существуют множество онтологий, которые потенциально могут быть снова использованы. Понимание, как различные онтологии в одной области (например, разные единицы измерения времени, величин или онтологии процессов) связаны друг с другом, является основной частью определения, может ли одна онтология быть интегрирована с другими, даже в случаях, когда терминология не совпадает.

Вопрос интеграции встает наиболее остро в проблеме разнообразия Больших данных, где онтологии могут решить эту проблему путем аннотации данных и метаданных. Наборы данных обычно отличаются по полноте их метаданных, гранулярности и используемой терминологии. Онтологии могут уменьшить часть этого разнообразия путем нормализации условий и обеспечения отсутствующих метаданных. Дополнительная проблема во многих приложениях Больших данных состоит в том, что терминология, использованная когда-то для одного набора данных, могла бы иметь различную интерпретацию другого набора данных, который, кажется, использует ту же терминологию, но в другое время. Для преодоления этой проблемы онтологии должны не только развиваться со временем, но также устанавливать соответствия предыдущих интерпретаций новым. Онтологии имеют потенциал для решения этой проблемы путем обеспечения стандартной модели, независимой от определенных представлений данных и терминологии, на которую могут быть отображены различные представления и терминология.

### 3.1.6 Разработка новой онтологии

Возможно, проще разработать новую онтологию для приложения, а не тратить время, чтобы найти возможные онтологии для повторного использования и лишь затем понять их достаточно хорошо, чтобы определить, удовлетворяют ли они требованиям пользователя. Если это действительно так, то важно будет создать новые среды разработки онтологий, лучше поддерживающие повторное использование проектов.

Использование шаблонов разработки онтологий является подходом, который может привести к непосредственно объединенному повторному использованию в методологии разработки онтологий. Путем явного получения допускающих повторное использование аспектов онтологии шаблон разработки позволяет разработчику эффективнее определять общности среди разрозненных компонентов.

Могут также быть ситуации, в которых слабые формы повторного использования являются более уместными. Например, в повторном использовании идей - условия, отношения или аксиомы определенной онтологии не используются повторно в явном виде, но они служат для принятия решений разработчиком новой онтологии относительно проектных решений. В этом подходе модификация онтологии становится методом проектирования онтологии.

Часто существуют барьеры и узкие места в использовании онтологий, с точки зрения повторного использования существующего контента или в разработке нового контента. Эти барьеры и узкие места могут проявиться из-за ряда факторов, включая:

- стоимость разработки и развертывания онтологий;
- непонимание задачи использования онтологий;
- своевременность способности обеспечить решения;
- неполное знание или навыки онтологического инжиниринга со стороны разработчиков онтологий;
- несоответствие между основными эксплуатационными характеристиками и намеченным доменным покрытием и обоснованием требований онтологий;
- использование несоответствующих инструментов на различных этапах жизненного цикла разработки онтологий;
- социологические, культурные и мотивационные проблемы среди заинтересованных лиц, разработчиков приложений, специалистов по проблемной области и онтологов.

В реальности, все вышеупомянутые факторы влияют на стоимость разработки и развертывания онтологий, и таким образом, повторное использование существующего семантического контента потенциально экономит деньги. Однако, на практике часто применяются одноразовые не онтологические решения, которые быстрее и дешевле, потому что повторное использование онтологий - значительно более дешевый метод разработки, позволяющий снизить затраты на обслуживание амортизируемых по многократным жизненным циклам приложений онтологий - не понято и не получило соответствующей поддержки сообществом.

### 3.1.7 Социальные факторы

Много онтологий, предназначенных для повторного использования, разработаны на английском языке, и предполагается, что все пользователи будут использовать английский язык; однако это не допустимое предположение для многих приложений. Несмотря на то, что это прагматично, идентификаторы должны быть на языке разработчика (так как это помогает в разработке и отладке), идентификаторы должны быть скрыты от конечных пользователей, которые должны быть в состоянии выбрать язык для меток, которые они видят. Когда намеченная семантика понятий в онтологии

определена в документации вместо того, чтобы быть формально полученной в аксиоматизированной онтологии, это может быть еще более проблематичным. В любом случае использование и словарей (терминов), и онтологий (понятия), объединенных вместе, позволяет специфичным для языка терминам быть отображенными на их логические понятия.

### 3.2 Где происходит повторное использование

Несмотря на суровую правду предыдущего раздела, у нас есть примеры успеха совместного использования и многократного применения словарей и онтологий. Например, рассмотрим проект Schema.org. Он представляет собой широко используемый (и расширяемый) словарь для описания веб-страниц. Понятия, содержащиеся в Schema.org, полностью задокументированы, как и правила использования и расширения словаря. Кроме того, пользователи поддерживаются через блоги и дискуссионные группы. Подход, проявленный в разработке Schema.org, решает проблемы нахождения допускающего повторное использование контента, управления размером и сложностью контента, интегрирование различных частей и расширений, а так же поддержания качества и доверия. Все они являются важными проблемами, поднятыми в предыдущем разделе.

Другие примеры успешного повторного использования основываются на маленьких онтологиях и шаблонах разработки. Они могут быть в основном применимы или специфицированы к определенной области. Примеры общих и частных структур могут быть найдены в Шаблонах разработки онтологии (ODP - Ontology Design Patterns) [26], в то время как проект OceanLink [27] (в рамках инициативы NSF Earth Cube) определяет проблемно-ориентированные структуры. Цель состоит в том, чтобы получить фундаментальные понятия, такие как наборы, списки, события, или, в случае OceanLink, траекторию круизного корабля.

Поскольку понятия распространены, они могут быть понятными и интегрироваться в разработку онтологий. Кроме того, они могут отображаться на данные в непересекающихся, разъединенных репозиториях и использоваться для интеграции их данных.

### 3.3 Лучшие практики

Что мы можем извлечь и из наших успехов, и из неудач? В следующем списке представлены некоторые лучшие практики.

- Грамотные возможности повторного использования следуют из знания требований проекта. Вопросы о компетентности должны использоваться, чтобы сформулировать и структурировать требования к онтологии как часть быстрого и гибкого подхода. Вопросы помогают изучать и структурировать в контексте области потенциального повторного использования контента.
- Планируйте формализацию. Повторно используйте контент на основе ваших потребностей, представляйте его в виде, отвечающем вашим целям, и затем подумайте, как его можно улучшить и снова использовать. Четко задокументируйте свои цели так, чтобы другие поняли, почему вы сделали данный выбор.
- Маленькие шаблоны разработки онтологии обеспечивают больше возможностей для повторного использования, потому что они имеют низкие барьеры для создания и потенциальной применимости, сфокусированы и согласованы. Они, вероятно, менее зависят от исходного контекста, в котором они были разработаны.
- Используйте модули «интегрирования» для слияния семантики вновь использованного индивидуального контента и шаблонов разработки.
- Рассмотрите повторное использование классов/понятий отдельно от свойств, от экземпляров и от аксиом. Путем разделения семантики (или для связанных данных, или онтологий) можно упростить повторное использование, ориентируясь на определенный контент, уменьшить объем необходимых преобразований и доработок.
- RDF обеспечивает основу для семантического расширения (например, OWL и RIF). Но RDF триплеты без этих расширений могут быть просто недоопределенными фрагментами данных. Они могут помочь в составлении словарей, но формализация на языках типа OWL может более формально определить и ограничить значение выражений. Это позволяет отвечать на запросы и осуществлять поддержку принятия решений.
- Метаданные лучшего качества (обеспечивающие определения, историю и любую доступную информацию о взаимосвязи) для онтологий и схем необходимы для упрощения повторного использования. Кроме того, важно отличать ограничения или понятия, которые являются категоричными (обязательными для получения семантики контента) в сравнении с теми, которые являются специфическими для области. Проблемно-ориентированное использование с практическими рекомендациями в обосновании приложений или аналитики данных также ценно. Исследования, проводимые в этой области, такие как Связанные открытые словари и несколько работ в рамках Хакатона онтологического саммита 2014, находятся в стадии реализации и должны поддерживаться.
- Необходимо улучшить управление онтологиями и схемами. Управление требует процесса, и этот процесс должен быть реализован в инструментах. Процесс должен включать открытое рассмотрение, комментирование, версию и принятие версий сообществом.
- Явная спецификация фрагментов онтологии должна быть включена в методологии разработки в жизненном цикле онтологии.

## 4. Автоматизация и инструменты

Сеть данных (Semantic Web, Linked Data и Big Data) обеспечивает большие возможности для основанных на онтологии сервисах, но также и ставит проблемы перед инструментами для редактирования, использования и принятия решений с использованием онтологий, а также методов, выявляющих узкие места в разработке крупномасштабных онтологий. Разумно

начать с легких инструментов, но они не применимы для управления большими сложными онтологиями. Применение инструментов может помочь с обеспечением логической непротиворечивости, но существует еще много ошибок, которые могут быть сделаны вне логической непротиворечивости. Поддержка инструментов, которые могут идентифицировать и решить такие ошибки, находится все ещё в стадии зарождения.

#### 4.1 Автоматизированное построение онтологий

Ключевой вопрос в использовании онтологий - автоматизированное построение онтологий. Это очень сложная задача, потому что она пытается получить и представлять семантику, которую люди получают из произвольных или иногда проблемно-ориентированных данных. Выявление и автоматизированное построение онтологий находятся все еще в младенчестве и требуют намного большего прогресса в машинном обучении (иногда называемым «глубокое обучение»), чем существует сегодня. Текущее положение с наиболее продвинутыми системами самообучения предполагает использование существующего машинного обучения, аналитической обработки текста и обработки естественного языка (а часто и всех трех одновременно) на аннотируемых или не аннотируемых данных для предоставления предполагаемых классов онтологии, отношений и свойств человеку, утверждающему кандидатов.

Несмотря на вышеупомянутое, выявление информации может значительно упроститься существующими онтологиями, так что в итоге неструктурированные данные становятся семантически аннотируемыми или индексированными и таким образом доступными для семантического поиска и навигации по онтологически описанным логическим триплетам связанных данных и семантической сети, которые могут быть добавлены для хранилищ триплетов, чтобы непосредственно упростить принятие решений по данным. В масштабе Интернета могут быть обеспечены навигация, поиск и логический вывод (например, через поиск свободного текста или запросы с использованием SPARQL) и агрегированная семантика. Автоматизация формулирования логических выводов (дедуктивного, индуктивного, абдуктивного и вероятностного) с помощью онтологий может быть разделена, распределена и распараллелена, но это может потребовать специальных инструментов (таких как реестры онтологий с сервисами и более специализированные аппаратные средства) и более длительных промежутков времени.

#### 4.2 Инструменты для проектирования крупномасштабных онтологий

Инструменты, требуемые для проектирования крупномасштабных онтологий и поддержки семантического анализа больших данных, в масштабах Интернета от распределенных совместных инструментов разработки и обслуживания онтологии (примером которых является WebProtege), соединенных кластеров репозитория онтологии (такие как Открытый репозиторий онтологии от онтологического саммита 2008 [28], BioPortal [29] и т.д.) и услуг, предоставляемых ими, к распределенной поддержке принятия решений. Вместе с провозглашением роста знания об онтологиях и семантических технологиях и их ценностном предложении, особенно к разработке, такие инструменты необходимы, чтобы помочь в преодолении распознанных барьеров и узких мест, описанных в предыдущих разделах.

##### 4.2.1 Модульная архитектура онтологий

В последние годы появляется все больше онтологий модульной архитектуры и инструментов их поддержки, по крайней мере, в виде исследований и прототипов (например, Мастерская модульных онтологий (WoMO - Workshop on Modular Ontologies) [30]). Поскольку существуют потенциально разнообразные уровни гранулярности, необходимые для крупномасштабного использования онтологий, требуются инструменты и методы, поддерживающие модульный принцип и гранулярность.

##### 4.2.2 Инструменты принятия решений в онтологии

Технологии семантической сети и связанных данных фокусируются на обеспечении семантического обогащения данных в Интернете и для этого используют онтологии разнообразными способами. Во многих случаях различные виды онтологий и правил рассуждения необходимы в пределах от классификационного обоснования до проверки непротиворечивости онтологий и триплетов, составляющих экземпляры базы знаний, к простому выводу (например, осуществляя утверждения транзитивности) и агрегации запроса SPARQL, к более сложному выводу, требующему точно выраженных правил для поддержки принятия решений и подобных приложений. Для более сложного обоснования часто необходимы гибридные инструменты обоснования, например, инструменты, поддерживающие логическое описание и обоснование логики первого порядка, и логическое, и вероятностное обоснование (например, мини-серия форума Ontolog «Онтология, правила и логическое программирование для выводов и приложений» [31]).

##### 4.2.3 Онтология и словарь с инструментами настройки

Крупномасштабное использование онтологий для Интернета и больших данных также требует, использования инструментов, поддерживающих отображение онтологии и словаря, а так же их настройку. Как упомянуто ранее, пользователи и разработчики должны использовать свои собственные естественные языки и для разработки, и для использования онтологий. Во многих случаях те же онтологии должны будут отображаться на разнообразные словари (подход, представленный, например, в SKOS), возможно на разных естественных языках или для использования различными сообществами. Кроме того, разные онтологии или модули онтологий, должны быть отображены на другие онтологии, или иным образом выровнены, для обеспечения масштабируемой семантики. Необходимы инструменты и службы для поддержки словаря к онтологии и отображения от онтологии к онтологии (см.: семинар Согласование онтологий, (OM-2013) [32]).

##### 4.2.4 Онтологическо-аналитические методы и гибридные инструменты

Особые требования к поддержке инструментариев выдвигают Большие данные, потому что многие аналитические инструменты, работающие над крупномасштабными данными, используют статистические и вероятностные аналитические

методы и массовое машинное обучение или гибридные алгоритмические методы (например, IBM Уотсон). Эти методы должны быть объединены с логическими и онтологическими методами разумным способом, чтобы «понять» большие данные и распространить это понимание между пользователями и приложениями, обеспечивающими поддержку принятия решений. Облачные технологии и Grid архитектура и инфраструктура часто требуются, чтобы находить существенные корреляции и образцы в Больших данных, которые могут использоваться, чтобы описывать и обогащать онтологию. Однако во многих случаях простая параллельная архитектура и вычислительные ресурсы недостаточны для того, чтобы объединить большие объемы данных со структурированными представлениями, то есть онтологиями. Таким образом, более специализированные аппаратные средства могут быть необходимы (например, Cray YarcData Urika [33]).

### 4.3 Вопросы

Среди вопросов, выдвинутых онтологическим саммитом 2014 относительно автоматизации и инструментов для онтологий, выделим следующие:

- Какие инструменты онтологии необходимы и когда они необходимы?
- Могут ли определение онтологии, разработка, интеграция и её повторное использование быть более автоматизированными?

## 5. Заключение и рекомендации

Гектор Левеск сделал приглашенный доклад в прошлом году на конференции IJCAI-13 в Пекине сообществу искусственного интеллекта (AI), и его заключительные слова могут быть полезны нашему сообществу [34]: «Мы должны избегать чрезмерного увлечения тем, что кажется нам самым многообещающим подходом. В нашей области, я полагаю, мы страдаем от того, что можно было бы назвать острым синдромом серебряной пули для AI; это усугубляется верой в серебряную пулю для AI, вместе с верой, что предыдущие верования о серебряных пулях были безнадежно наивны».

### 5.1 Рекомендации

1. Усилия идентифицировать значения онтологий в приложениях Больших данных имеют самый высокий приоритет, поскольку все еще существуют разрывы между сообществами Больших данных и Прикладных онтологий. Мы должны искать больше возможностей поощрять взаимодействие перекрестного сообщества.

2. Сообщество должно договориться и принять лучшие методы для допускающего повторное использование контента с обеспечением совместного доступа.

3. Разработчики Семантической сети и Больших данных должны идентифицировать функции онтологии, имеющие значение для них, т.е., те, которые они требуют в онтологии или которые они должны знать об онтологии при рассмотрении для повторного использования.

4. Разработчики онтологии и провайдеры должны рассмотреть вышеупомянутые функции и попытаться: (а) разрабатывать и/или осуществлять рефакторинг своих онтологий и методологий сообразно с этими потребностями, если это возможно, и (б) обеспечивать метаданные о своих онтологиях, указывающие на их состояние относительно этих потребностей.

5. Сообщество должно принять определение стандартных метаданных для повторного использования - документация предположений, требований, контекста, намерения, вариантов использования, истории. Репозитории онтологии и другие инструменты должны поддерживать эти метаданные и добавление более применимых метаданных будущими потенциальными пользователями и средствами анализа.

6. Должны быть разработаны инструменты для лучшей поддержки модульной разработки онтологий, их интеграции и повторного использования.

7. Более широкий массив функциональности должен быть добавлен к инструментам, включая поддержку разработки, публикации, поиска, понимания, визуализации, проверки, преобразования, интеграции онтологии в сети.

### 5.2 Острые проблемы

Мы можем также выделить несколько острых проблем, которые могут требовать совместных усилий и будущего сотрудничества среди трех сообществ Прикладные онтологии, Семантическая сеть (и Связанные данные) и Большие данные.

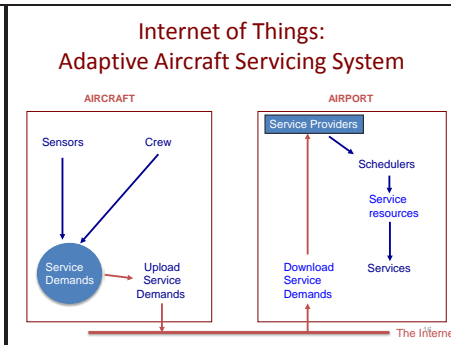
- Какие онтологии требуются приложениями Больших данных и Семантической сети?
- Каковы требования для инструментов, служб и методов, поддерживающих разработку онтологий в приложениях Больших данных и Семантической сети?
- Действительно ли масштабируемость является фундаментальной проблемой для использования онтологий в сети?
- Существенно ли отличаются проектирование и внедрение онтологий в сети от существующих практик?
- Каковы требования для инструментов, служб, методов, используемых для разработки и реализации семантического контента на Семантической сети и в приложениях Больших данных?
- Встречаемся ли мы с новыми узкими местами разработки онтологии в приложениях Больших данных и Семантической сети?
- Может проблема разнообразия в приложениях Больших данных быть адресована с помощью существующих методов для семантической интеграции, таких как визуализация онтологий?
- Какие наборы исходных данных могут использоваться для руководства будущей работой в интеграции онтологий?

## Используемые источники

- [1] Ontology Summit 2014 Recommended Readings and Ontology Repository. <http://ontolog.cim3.net/OntologySummit/2014/readings.html>.
- [2] Ontology Summit 2014. <http://ontolog.cim3.net/OntologySummit/2014/>.
- [3] Ontology Summit 2011: Making the Case for Ontology. <http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2011>.
- [4] PROVO, Provenance Working Group. <http://www.w3.org/TR/provo-verview/>.
- [5] OODA Loop. [http://en.wikipedia.org/wiki/OODA\\_loop](http://en.wikipedia.org/wiki/OODA_loop).
- [6] Joint Directors of Laboratories (JDL) / Data Fusion Information Group (DFIG). [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_fusion#The\\_JDL.2FDFIG\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_fusion#The_JDL.2FDFIG_model).
- [7] Chan, Eric. 2014. Enabling Enhanced OODA Loop with Modern Information Technology. Ontology Summit 2014 presentation. [http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?ConferenceCall\\_2014\\_02\\_13#nid466S](http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?ConferenceCall_2014_02_13#nid466S).
- [8] IBM's Watson. <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/>.
- [9] Gene Ontology. <http://www.geneontology.org/>.
- [10] Open Biological and Biomedical Ontologies (OBO) Foundry. <http://www.obofoundry.org/>.
- [11] Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering (DOLCE). <http://www.loa.istc.cnr.it/old/DOLCE.html>.
- [12] Basic Formal Ontology (BFO). <http://www.ifomis.org/bfo/>. Also: [http://ncorwiki.buffalo.edu/index.php/Basic\\_Formal\\_Ontology\\_2.0](http://ncorwiki.buffalo.edu/index.php/Basic_Formal_Ontology_2.0).
- [13] Linked Open Terms (LOT). <http://lot.linkedata.es/>.
- [14] YAGO. <http://www.mpiinf.mpg.de/yagonaga/yago/>.
- [15] Web Service Modeling Ontology (WSMO). <http://www.wsmo.org/>.
- [16] OWLS: Semantic Markup for Web Services. <http://www.w3.org/Submission/OWLS/>.
- [17] Linked Unified Service Description Language (Linked USDL). <http://www.linkedusdl.org/>.
- [18] Unified Service Description Language (USDL). <http://www.internetofservices.com/index.php?id=288&L=0>.
- [19] Web Services Description Language (WSDL). <http://www.w3.org/TR/wsdl>.
- [20] Semantic Web for Earth and Environmental Technology (SWEET). <http://sweet.jpl.nasa.gov/>.
- [21] Linked Open Vocabularies. <http://lov.okfn.org/dataset/lov/>.
- [22] Ontology Summit 2013: Ontology Evaluation Across the Ontology Lifecycle. <http://ontolog.cim3.net/OntologySummit/2013/>.
- [23] Open Ontology Repository (OOR). <http://oor.net>.
- [24] Open Metadata Vocabulary (OMV). <http://omv2.sourceforge.net/>.
- [25] Ontology Integration and Interoperability (OntoIOP). <http://ontoiop.org>.
- [26] Ontology Design Patterns (ODP). <http://OntologyDesignPatterns.org>.
- [27] EarthCube OceanLink. <http://workspace.earthcube.org/oceanlink>.
- [28] Ontology Summit 2008: Toward an Open Ontology Repository: <http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2008>.
- [29] National Center for Biomedical Ontology (NCBO) BioPortal. <http://www.bioontology.org/BioPortal>.
- [30] Workshop on Modular Ontologies (WoMO): <http://womo2014.biolark.org/>.
- [31] Ontology, Rules, and Logic Programming for Reasoning and Applications, Ontolog Forum miniseries. <http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?RulesReasoningLP>.
- [32] Workshop on Ontology Matching (OM2013): <http://om2013.ontologymatching.org/>.
- [33] Cray YarcData Urika. <http://www.cray.com/Products/BigData/uRiKA.aspx>.
- [34] Levesque, H. 2014. Artificial Intelligence, Volume 212, July 2014, Pages 27–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2014.03.007>.

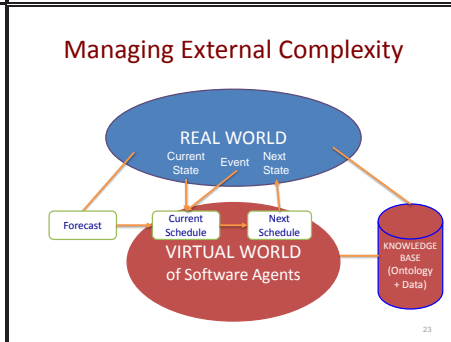
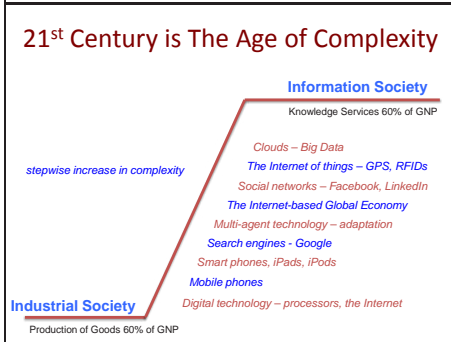
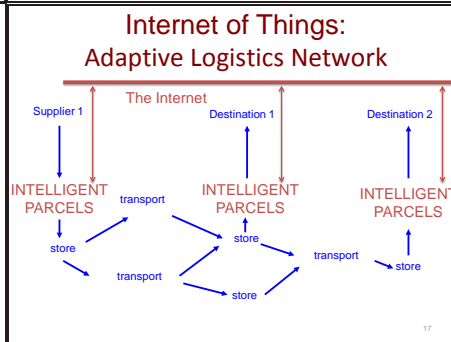
# Managing Complexity

**George Rzevski**  
 Professor, Centre for Complexity and Design, The Open University, UK  
 Founder and Executive Chairman of Multi-Agent Technology Group,  
 London, UK; Samara, Russia and Hanover, Germany



### Co-Evolution of Society and Technology

STAGES	KEY RESOURCES	DISTRIBUTION	SCOPE	SUCCESS FACTORS
Industrial society Mass production technology	Capital	Motorways Railways	Regional & National	Economy of scale
Information society Digital technology	Knowledge	Digital networks	Global	Adaptability



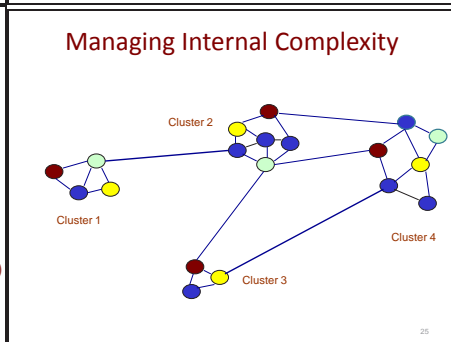
### Complex Systems

RANDOM	COMPLEX	DETERMINISTIC
Uncertainty = 1	1 > Uncertainty > 0	Uncertainty = 0
Full autonomy	Partial autonomy	No autonomy
Disorganised	Self-organising	Organised
Unpredictable behaviour	Emergent behaviour	Predictable behaviour

- ### Managing Internal Complexity
- Reduction of Complexity* | *Increase in Complexity*
- Improves predictability of behaviour
  - Improves stability
  - Reduces risk from disruptive and extreme events
  - Decreases speed of recovery
- Improves self-organisation
    - More adaptability
    - More resilience
    - More creativity
    - More intelligence
  - Improves co-evolution
  - Increases risk of disruptive and extreme events
  - Increases speed of recovery

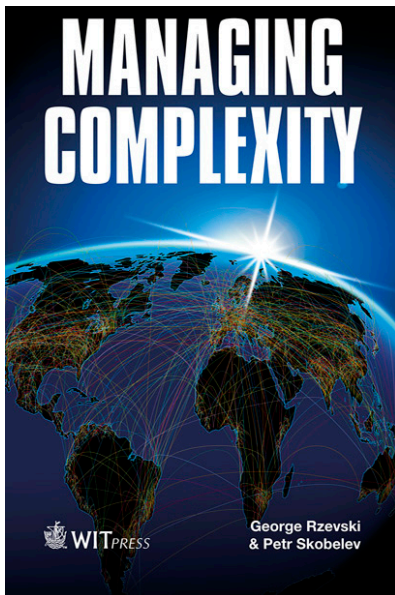


- ### Definition of Complexity
- Complexity is the property of an open system*
- Which consists of a large number of diverse richly connected partially autonomous Agents
  - Has no central control
  - Its behaviour emerges from the interaction of agents and is therefore unpredictable but not random
  - Operates far from equilibrium
  - Has nonlinear connections between agents, which occasionally create Extreme Events (butterfly effect)
  - Capable of self-organising and coevolving with its environment



Лекция-семинар члена редколлегии журнала «Онтология проектирования», профессора Г. Ржевского в СГАУ 3.07.2014





## Managing Complexity

G. Rzevski, The Open University, UK and

P. Skobelev, Software Engineering Company «Smart Solutions» Ltd., Russia

### Book Description

Managing Complexity is the first book that clearly defines the concept of Complexity, explains how Complexity can be measured and tuned, and describes the seven key features of Complex Systems:

1. Connectivity
2. Autonomy
3. Emergency
4. Nonequilibrium
5. Non-linearity
6. Self-organisation
7. Co-evolution

The thesis of the book is that complexity of the environment in which we work and live offers new opportunities and that the best strategy for surviving and prospering under conditions of complexity is to develop adaptability to perpetually

changing conditions. An effective method for designing adaptability into business processes using multi-agent technology is presented and illustrated by several extensive examples, including adaptive, real-time scheduling of taxis, sea-going tankers, road transport, supply chains, railway trains, production processes and swarms of small space satellites. Additional case studies include adaptive servicing of the International Space Station; adaptive processing of design changes of large structures such as wings of the largest airliner in the world; dynamic data mining, knowledge discovery and distributed semantic processing.

Finally, the book provides a foretaste of the next generation of complex issues, notably, The Internet of Things, Smart Cities, Digital Enterprises and Smart Logistics

### Contents

#### **PART 1 Fundamentals**

##### **1 What is complexity?**

Defining Complexity  
Complex Versus Complicated  
Complexity and Uncertainty  
The Seven Criteria of Complexity  
Negative and Positive Aspects of Complexity  
Evolution Favours Complexity  
Co-Evolution of Technology, Economy and Society  
Complexity and Information Society  
Complexity and Philosophy

##### **2 A method for managing complexity**

Coping with External Complexity  
Tuning Internal Complexity  
Modelling Complexity  
Adaptability  
Designing Adaptive Business Processes

##### **3 Multi-agent technology**

Fundamentals  
MAS for Adaptive Resource Allocation  
Knowledge Base  
Virtual World  
Decision-Making  
Agent Negotiations  
Architecture  
Multi-Agent Platform  
Main Features of Our MAS  
Multi-Agent Software as a Complex Adaptive System  
Comparing Multi-Agent Software with Conventional Programs

##### **4 Emergent intelligence**

Fundamentals  
Evidence of Intelligent Behaviour  
Thermodynamics of the Virtual World

#### **PART 2 Commercial applications**

##### **5 Adaptive scheduling of seagoing tankers**

The Problem  
The Solution  
Results

##### **6 Adaptive scheduling of taxis**

##### **7 Adaptive scheduling of car rentals**

##### **8 Adaptive scheduling of road transport**

##### **9 Adaptive data mining**

##### **10 Adaptive semantic processing**

##### **11 Adaptive detection of clashes caused by design changes**

##### **12 Adaptive scheduling of supply networks**

##### **13 Adaptive scheduling of services for the international space station**

##### **14 Adaptive scheduling of a fleet of satellites**

##### **15 Adaptive scheduling of high-speed railways**

##### **16 Adaptive scheduling of manufacturing**

##### **17 Adaptive management of service teams**

##### **18 Adaptive project management**

#### **PART 3 A roadmap into the future**

##### **19 A vision and ideas**

A Shift from Personal to Business Applications  
The I o T  
Digital Enterprise  
Smart City  
Smart Logistics  
The story of managing complexity

##### **References**

Индекс 29151

*Читайте в ближайшем номере журнала:*

Л.С. Глоба, М.В. Ковальский (Киев, Украина)

**ПОВЫШЕНИЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ ПРИ ПОИСКЕ ВЕБ-СЕРВИСОВ В МУЛЬТИОНТОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

И.М. Зацман, П.М. Бутман (Москва, Россия)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ МОНИТОРИНГА В СФЕРЕ НАУКИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И МОДЕЛИ**

В.В. Голенков, Н.А. Гулякина (Минск, Белоруссия)

**ПРОЕКТ ОТКРЫТОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОНЕНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 2: ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ**

В.И. Левин (Пенза, Россия)

**СТАБИЛЬНОСТЬ НЕОПРЕДЕЛЁННЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ**

*In the next issue of the journal:*

Larisa Globa, Mikhail Kovalskyi (Kiev, Ukraine)

**INCREASING WEB SERVICES DISCOVERY RELEVANCY IN THE MULTI-ONTOLOGICAL ENVIRONMENT**

Igor Zatsman, Pavel Buntman (Moscow, Russia)

**DESIGNING INDICATORS FOR MONITORING IN SCIENCE: THEORETICAL FRAMEWORK AND MODELS**

Vladimir Golenkov, Natalia Guliakina (Minsk, Belarus)

**PROJECT OF OPEN SEMANTIC TECHNOLOGY OF THE COMPONENTAL DESIGN OF INTELLIGENT SYSTEMS. PART 1: EXAMPLES OF IMPLEMENTATION**

Vitaly Levin (Penza, Russia)

**STABILITY OF UNCERTAIN OPTIMIZATION PROBLEMS**

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



Издательство «Новая техника» - Publisher «New Engineering» Ltd  
Россия, 443010, Самара, ул.Фрунзе 145 - 145, Frunze Str., Samara, 443010, Russia