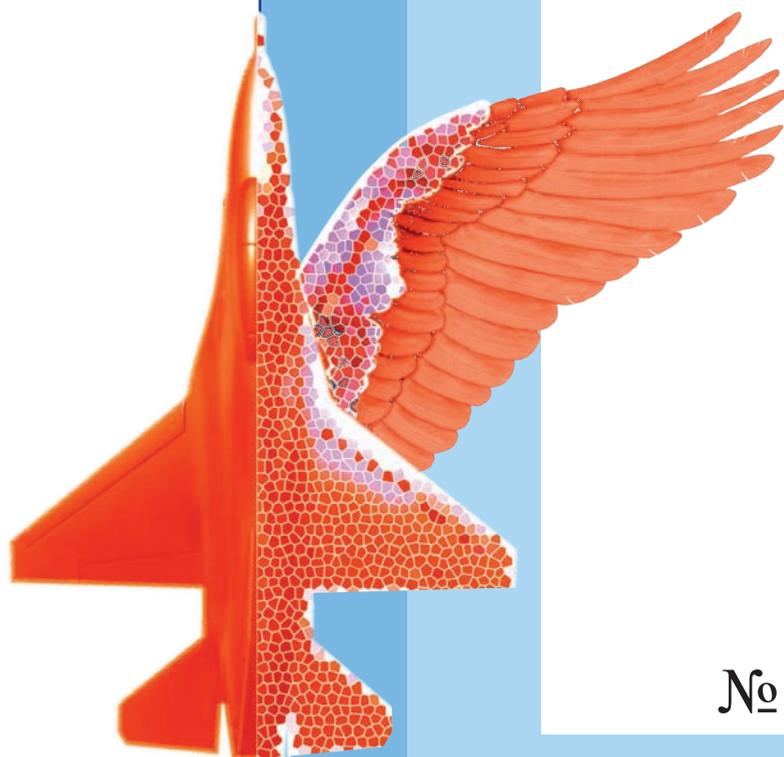


ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



30 лет
ИПУСС РАН



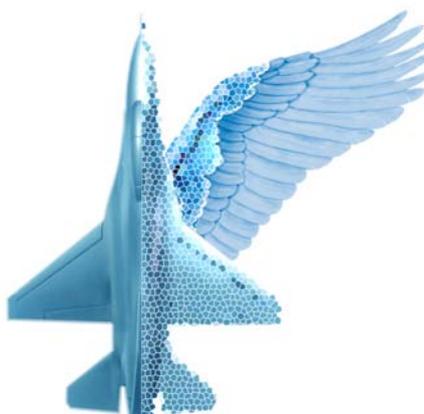
Том **7**
№ **4**(26)/2017

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

Том 7

№ 4(26)



EDITORIAL BOARD – РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Anatoly I. Belousov	Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, Самарский университет, г. Самара
Nikolay M. Borgest	Боргест Николай Михайлович, к.т.н., профессор, Самарский университет, член ИАОА, г. Самара
Stanislav N. Vasiliev	Васильев Станислав Николаевич, д.т.н., профессор, академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва
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
Yury A. Zagorulko	Загорюлько Юрий Алексеевич, к.т.н., с.н.с., ИСИ СО РАН, г. Новосибирск
Anton V. Ivashchenko	Иващенко Антон Владимирович, д.т.н., профессор, Самарский университет, г. Самара
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, Самарский университет, 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
Dmitry V. Lande	Ландэ Дмитрий Владимирович, д.т.н., с.н.с., ИПРИ НАН Украины, г. Киев
Lyudmila V. Massel	Массель Людмила Васильевна, д.т.н., профессор, ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск
Aleksandr Yu. Nesterov	Нестеров Александр Юрьевич, д.филос.н., профессор, Самарский университет, г. Самара
Dmitry A. Novikov	Новиков Дмитрий Александрович, д.т.н., проф., член-корреспондент РАН, ИПУ РАН, г. Москва
Alexander V. Palagin	Палагин Александр Васильевич, д.т.н., проф., академик НАН Украины, Ин-т кибернетики, г. Киев
Semyon A. Piyavsky	Пиявский Семён Авраамович, д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара
Yury M. Reznik	Резник Юрий Михайлович, д.филос.н., профессор, Институт философии РАН, г. Москва
George Rzevski	Ржевский Георгий, 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
Peter I. Sosnin	Соснин Петр Иванович, д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск
Dzhavdet S. Suleymanov	Сулейманов Джавдет Шевкетович, д.т.н., профессор, академик, вице-президент АН РТ, г. Казань
Boris E. Fedunov	Федунов Борис Евгеньевич, д.т.н., профессор, ГосНИИ авиационных систем, г. Москва
Altynbek Sharipbay	Шарипбай Алтынбек, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, г. Астана
Boris Ya. Shvedin	Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО «Дан Роуз», член ИАОА, г. Ростов-на-Дону

Executive Editorial Board - Исполнительная редакция

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

CONTACTS FOUNDERS – КОНТАКТЫ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

ИПУСС РАН

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

Смирнов С.В.
smirnov@iccs.ru

Самарский университет

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

Боргест Н.М.
borgest@yandex.ru

ООО «Новая техника» (издательство)

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

The journal has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's leading aggregator of full text journals, magazines and eBooks. The full text of JOURNAL can be found in the EBSCOhost™ databases.



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

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

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

Журнал включён в Российский индекс научного цитирования. Пятилетний ИФ РИНЦ **0.839** (2013), **0.754** (2014), **1.268** (2015), **0.945** (2016).

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

http://agora.guru.ru/scientific_journal/



Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.
Дата выхода 29.12.2017. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей
© ООО «Новая техника» - «New Engineering» Ltd., 2011-2017
© Самарский университет - Samara University, 2015-2017
© ИПУСС РАН - ICCS RAS, 2015-2017

ОТ РЕДАКЦИИ	
ДЕДЛАЙН В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ	365
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ	
М.В. Белов, Д.А. Новиков	366-387
СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
В.Я. Цветков, В.В. Мордвинов	388-397
ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ	
С.М. Ковалев, А.Е. Колоденкова	398-409
ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
Д.В. Трошин	410-422
ОСНОВЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКОВ УГРОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ	
Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин	423-442
ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПУТИ РЕШЕНИЯ	
ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ	
П.А. Ломов, А.Г. Олейник	443-452
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТУПА К ДАННЫМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ	
Ю.В. Рогушина	453-472
РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СЕМАНТИЧЕСКИХ WIKI-ТЕХНОЛОГИЙ	
Е.Е. Витяев, В.В. Маргенович	473-486
ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ФОРМАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ	
В.П. Офицеров, С.В. Смирнов	487-495
НЕЧЁТКИЙ АНАЛИЗ ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОНТОЛОГИЙ	
МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	
Д.С. Парыгин, Н.П. Садовникова, О.А. Шабалина, И.М. Корнеев	496-509
ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ИЕРАРХИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ	
НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ	510-511
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИЗДАНИЯ	512

CONTENT

FROM THE EDITORS	
DEADLINE IN THE LIFE CYCLE	365
GENERAL DESIGN ISSUES: ONTOLOGICAL ASPECTS	
M.V. Belov, D.A. Novikov	366-387
STRUCTURE OF METHODOLOGY OF COMPLEX ACTIVITY	
APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING	
V.Ya. Tsvetkov, V.A. Mordvinov	388-397
APPROACH TO SYSTEMATIZATION OF ALGORITHMS	
S.M. Kovalev, A.E. Kolodenkova	398-409
KNOWLEDGE BASE DESIGN FOR THE INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROL AND PREVENTIONS OF RISK SITUATIONS IN THE DESIGN STAGE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS	
D.V. Troshin	410-422
FOUNDATIONS OF A CONCEPTUAL MODEL OF ECONOMIC SECURITY THREAT SOURCES AT THE NATIONAL LEVEL	
N.M. Borgest, D.V. Budaev, V.V. Travin	423-442
ONTOLOGY OF PRECISION AGRICULTURE DESIGN: PROBLEM STATE, SOLUTION APPROACHES	
ONTOLOGY ENGINEERING	
P.A. Lomov, A.G. Oleynik	443-452
TECHNOLOGY OF APPLICATION OF ONTOLOGY DESIGN PATTERNS FOR ACCELERATION OF QUERIES EXECUTION IN ONTOLOGY BASED DATA ACCESS SYSTEMS	
J.V. Rogushina	453-472
DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED INTELLIGENT SYSTEMS ON BASE OF ONTOLOGICAL ANALYSIS AND SEMANTIC WIKI TECHNOLOGIES	
E.E. Vityaev, V.V. Martynovich	473-486
PROBABILISTIC FORMAL CONCEPTS IN SOME CLASSIFICATION TASKS	
V.P. Oficerov, S.V. Smirnov	487-495
FUZZY FORMAL CONCEPT ANALYSIS IN THE CONSTRUCTION OF ONTOLOGIES	
METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING	
D.S. Parygin, N.P. Sadovnikova, O.A. Shabalina, I.M. Korneev	496-509
FORMATION OF AN OBJECTIVES HIERARCHY IN TASKS OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS MANAGEMENT	
SCIENTIFIC CONFERENCES	510-511
RECOMMENDED BOOKS	512



ДЕДЛАЙН В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ DEADLINE IN THE LIFE CYCLE

ОТ РЕДАКЦИИ

«Стоим над водой - солнце, кошка, чинара, я и наша судьба. Вода прохладная, чинара высокая, я стихи сочиняю, кошка дремлет, солнце греет.
Слава Богу, живем!»

Назым Хикмет

Дорогой наш читатель, уважаемые авторы и члены редакционной коллегии!

Писатель, сценарист, общественный деятель, основоположник турецкой революционной поэзии, коммунист с 1922 года, Лауреат Международной премии Мира *Назым Хикмет*, описывая ситуационный фрагмент своей жизненной онтологии, отметил важный и оптимистический для всех нас аспект *своего присутствия, своего существования* в этом быстроменяющемся мире. Мире, наполненном конечными сроками различных жизненных событий, словно годовыми кольцами на древе чинары, жизненный цикл которой на много длиннее нашего земного пребывания.

Конец года традиционно нелинеен в своём протекании, он наполнен сроками завершения многочисленных дел (из которых только меньшая часть присутствовала в наших планах) и ситуациями, требующими поиска соответствующих ресурсов, которых может и не быть, но решения в любом случае должны быть найдены. Особенность «конца» назначенного периода - его искусственность, в отличие от годовых колец деревьев. Поэтому пик насыщенности множества завершающихся событий в нашем проектируемом бытии чаще всего приходится на приближающуюся знаменательную дату – дату рождения Нового года, внесение новых записей в летоисчисление, строительства новых планов на будущее.

В Новом году мы все ждём и желаем друг другу перемен, перемен к лучшему. И здесь нельзя не согласиться с Рене Декартом, утверждавшим, что «существующий мир - оптимальный из миров». Ему вторит и народная мудрость, которая гласит, что «всё что ни делается - всё к лучшему». Конечно, речь идёт о лучшем в большом, глобальном смысле, «в соответствии с глобальными критериями оптимизации». Для индивидуума же не все перемены приводят к лучшему, т.к., к сожалению, т.н. глобальное «улучшение» часто - «маленькая трагедия» для конкретного человека! «Вставание с колен» целой страны, победы в спортивных и военных баталиях могут и не улучшить жизнь всех граждан этой великой державы, а положение некоторых даже и ухудшить. Мы можем продвигаться в чужих рейтингах, и заслужено гордиться этим, а возможностей и ресурсов на развитие собственной науки и своих журналов у нас становится всё меньше и меньше. Но мы оптимисты, т.к. живём в России. И *«слава Богу, живём»* и будем жить дальше с неугасающей надеждой!

В этом номере мы отобрали статьи авторов из Москвы (*ИПУ РАН, ИБС, НИИАС, МИРЭА, МГПУ и Финансового университета*), Киева, Новосибирска, Апатитов, Волгограда, Ростова на Дону и Самары.

Наш соучредитель, ИПУСС РАН в декабре отмечает своё *30-летие*. От души, тепло и искренне поздравляем всех сотрудников и партнёров ИПУСС РАН с юбилеем!

Уважаемый автор!

Мы по-прежнему ждём *новых* результатов в области компьютерного моделирования знаний, в создании интеллектуальных систем, в онтологии проектирования!
Ontologists and designers of all countries and subject areas, join us!

УДК 004.827

СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

М.В. Белов¹, Д.А. Новиков²

¹Комания ИБС, Москва, Россия
mbelov@ibs.ru

²Институт проблем управления Российской академии наук, Москва, Россия
novikov@tushino.com

Аннотация

Работа посвящена изложению концепции методологии комплексной деятельности, развивающей общую методологию на случай любой сложной (имеющей нетривиальную многоуровневую внутреннюю структуру) человеческой деятельности. Рассматриваются структурные элементы комплексной деятельности, конструктивно описываются её логическая, причинно-следственная и процессная структуры. Значительное внимание уделяется организации и управлению, неопределённости, а также жизненным циклам деятельности, её субъектов, предметов, ресурсов, знаний и технологий. Использование системы согласованных формальных моделей обеспечивает практическую применимость результатов как специалистами-практиками, так и учёными, занимающимися исследованиями общих принципов организации деятельности (практической, научной и др.) и управления организационно-техническими системами. Впервые предложен формализм описания сложной деятельности вместе с субъектом – организационно-технической системой. Разработаны формальные модели организации и управления как комплексной деятельности.

Ключевые слова: комплексная деятельность, неопределённость, организация, управление.

Цитирование: Белов, М.В. Структура методологии комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С.366-387. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.

Введение

В книге [1] с позиций системного анализа в логике современного проектно-технологического типа организационной культуры изложены основы методологии как учения об организации деятельности (научной [2], практической [1], художественной [3], учебной [4] и игровой [5]).

Разработке единой теории *комплексной деятельности* (КД) в виде последовательности утверждений и совокупности общих и универсальных её моделей посвящена книга [6], которая продолжает методологическое направление [1]. С одной стороны, КД рассматривается как интегрированная совокупность единообразно описываемых элементов, каждый из которых в общем случае может быть декомпозирован. С другой стороны, КД рассматривается как сложная система. Она опирается на методы *теории систем* (Systems Science) и её прикладного расширения - *системотехники* (Systems Engineering) и развивает их подходы [7, 8]. В общем случае субъектами и предметами КД являются *организационно-технические системы* (ОТС - сложная система, включающая людей, и, быть может, технические и природные элементы).

Настоящая работа посвящена изложению структуры методологии КД и включает описание взаимосвязи общей методологии (ОМ) и методологии КД (разделы 1-2 и 11-12), а также корпуса основных результатов методологии КД (разделы 3-10).

1 Общая методология

Методология – учение об организации *деятельности* (деятельность – целенаправленная активность человека) [1]. Организовать деятельность означает упорядочить её в целостную систему с чётко определёнными характеристиками, логической структурой и процессом её осуществления – *временной структурой*.

Логическая структура включает в себя следующие компоненты: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы деятельности, её результат. Внешними по отношению к этой структуре являются следующие *характеристики деятельности*: особенности, принципы, условия, нормы.

Исторически известны разные типы культуры организации деятельности. Современным является проектно-технологический тип, который состоит в том, что продуктивная деятельность человека (или организации) разбивается на отдельные завершённые циклы, которые называются *проектами*. Процесс осуществления деятельности в [1] предложено рассматривать в рамках проекта, реализуемого в определённой временной последовательности по фазам, стадиям и этапам, причём последовательность эта является общей для всех видов деятельности. Завершённость цикла деятельности (проекта) определяется тремя фазами:

- 1) *фаза проектирования*, результатом которой является построенная модель создаваемой системы и план её реализации;
- 2) *технологическая фаза*, результатом которой является реализация системы;
- 3) *рефлексивная фаза*, результатом которой является оценка реализованной системы и определение необходимости её дальнейшей коррекции или «запуска» нового проекта.

В [1] предложена следующая *схема методологии*:

- характеристики деятельности: особенности, принципы, условия и нормы деятельности;
- логическая структура деятельности: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы, результат деятельности;
- временная структура деятельности: фазы, стадии, этапы деятельности.

Такое понимание и построение методологии позволяет с единых позиций и в единой логике обобщить различные имеющиеся в литературе подходы и трактования понятия «методология» и его использование в самых разнообразных видах деятельности.

ОМ рассматривает деятельность в виде совокупности *процессуальных компонентов* (см. рисунок 1 [1, с. 31], основная терминология определена в [9]), обобщающих и структурирующих психологическую *теорию деятельности* (Activity Theory) [10], интенсивно развивавшуюся в середине XX века и ставшую общепризнанной основой многих современных разделов теории управления ОТС – см. обзоры в [11, 12].

Процессуальными компонентами деятельности являются [1]: потребность, цель, задачи, технология (в т.ч. - формы, средства и методы деятельности), действие и результат деятельности («процессные» связи между ними показаны на рисунке 1 жирными стрелками). Внешними по отношению к этой совокупности являются следующие *характеристики деятельности*: особенности, принципы, критерии, условия и нормы. *Субъект деятельности* (кто осуществляет деятельность) и *предмет деятельности* (что изменяется в процессе деятельности) являются ключевыми категориями, без которых описание деятельности заведомо неполно. В рамках психологической теории деятельности С.Л. Рубинштейна - А.Н. Леонтьева [10, 13] (см. обзоры в [14-16]), рассматривающей деятельность человека или групп¹ [17], деятель-

¹ Использование понятия «деятельность» для ОТС является непривычным с точки зрения психологии, которая традиционно считает, что деятельность – активность человека (действия могут совершать либо люди, либо животные). Тем не менее, ОТС включают людей, поэтому, говоря о «деятельности ОТС» будем подразумевать именно их деятельность, а для «технических» составляющих использовать термины «функционирование», «работа» и т.п.

ность имеет трёхуровневую структуру: *деятельность – действие – операция – психофизиологические функции* (деятельность определяется мотивом, действие – целью, операция – конкретными условиями её осуществления).

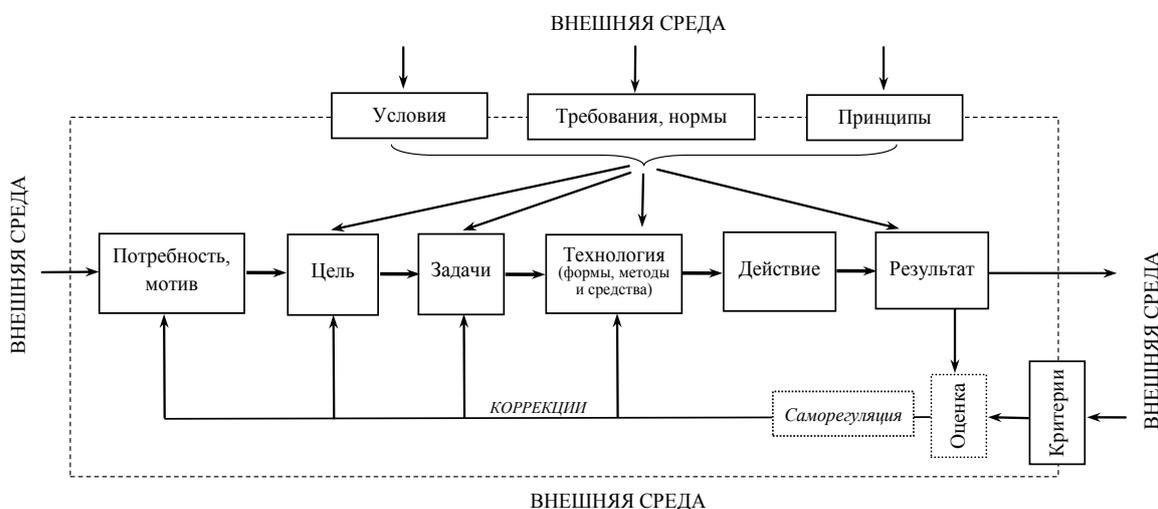


Рисунок 1 - Процессуальные компоненты деятельности [1]

Зарубежный последователь школы крупнейшего советского психолога А.Н. Леонтьева – финский психолог и педагог Ю. Энгестрём [18]. На его неиерархическую структуру деятельности [15, с. 78] ссылаются почти все современные исследования по теории деятельности – см., например [19]. Вряд ли деятельность сложной ОТС можно описать трёхуровневой схемой А.Н. Леонтьева или «сетевой» структурой Ю. Энгестрёма. Поэтому востребованы многоуровневые иерархические модели деятельности, позволяющие единообразно описывать её сложную структуру, оперировать с её элементами, в т.ч. в их динамике и развитии.

2 Элементарная и комплексная деятельности

В современной методологии [1] представление процессуальных компонентов деятельности (см. рисунок 1) не предполагает декомпозиции целей, технологии и результата деятельности и не содержит соответствующих процедур. Описание результата или технологий в виде недетализируемых и неструктурируемых объектов существенно сужает применимость данного подхода для исследования практически интересных нетривиальных примеров деятельности. Например, представление деятельности по разработке модели автомобиля или стиральной машины, или любого другого сложного технического объекта, по его производству, продажам, сервису и т.д. на уровне абстракции (рисунок 1) не позволит получить какие-либо конструктивные и операциональные результаты, полезные для анализа рассматриваемой деятельности или создания системы управления ею.

Поэтому введём понятия элементарной и КД. Под *элементарной* будем понимать такую деятельность, цели, технологии и результат которой не имеют собственной нетривиальной внутренней структуры (или, согласно принципу обобщения и абстрагирования, введение такой структуры не даёт дополнительного знания, качественно нового эффекта). Характеристиками элементарной деятельности является в т.ч. то, что выполнены три условия:

- 1) технология деятельности не изменяется в течение деятельности, сама деятельность имеет рамки, чётко определённые для наблюдателя (исследователя, субъекта деятельности, потребителя);

- 2) предмет деятельности единственный и изменяется в её процессе согласно технологии (что и составляет цель деятельности), но не изменяет своего места и роли в контексте (не изменяются требования к предмету деятельности);
- 3) субъект, осуществляющий деятельность, единственен, чётко определён и ограничен, и также не трансформируется в процессе осуществления деятельности.

В случае элементарной деятельности структура рисунка 1 достаточна для описания самой деятельности, и нет необходимости рассматривать субъект и предмет вместе с собственно деятельностью – они играют роль понятного контекста (в течение периода деятельности эволюционирует только предмет в соответствии с используемой субъектом технологией). Поэтому ОМ [1] можно условно назвать *методологией элементарной деятельности*.

В противоположность этому деятельность, не являющаяся элементарной, в [6] предложено называть *комплексной*. То есть, КД – деятельность, обладающая нетривиальной внутренней структурой, с множественными и/или изменяющимися целями, субъектом, технологией, ролью предмета в его целевом контексте. КД может быть и научная, и практическая, и художественная и др.

Разнообразие элементов КД позволяет выделить среди них несколько характерных групп. Прежде всего, это элементы «*основной деятельности*», то есть непосредственно направленной на изменение *предмета*, на достижение конечной цели. Две другие группы образуют элементы, относящиеся к *управлению и организации* (как деятельности). Наконец, к четвёртой группе целесообразно относить элементы «*вспомогательной деятельности*», цели которых связаны с процессуальными компонентами других элементов деятельности, прежде всего с технологией и ресурсами. Очевидно, введённая типология является относительно условной, потому что в каждом конкретном случае будут существовать элементы, которые по различным признакам могут быть отнесены к различным классам (в частности, все элементы КД относятся к «основной деятельности», так как, в конечном счёте, обеспечивают достижение именно её целей).

3 Методология комплексной деятельности: актуальность и основные результаты

В силу названных особенностей КД она рассматривается вместе с осуществляющим её субъектом (как правило, являющимся сложной ОТС). Соответственно, теорию, излагаемую в [6] в виде последовательности утверждений и интегрированной системы моделей и являющаяся учением об организации КД, авторы назвали *методологией комплексной деятельности* (МКД), которая развивает ОМ [1] на случай КД.

МКД обеспечивает систематизированный базис для решения таких задач как:

- проектирование новой КД;
- рассмотрение альтернативных решений при таком проектировании;
- разработка регламентной документации;
- моделирование КД, прежде всего, компьютерное;
- создание систем управления КД в виде описаний процессов управления, регламентов, знаний и данных, реализованных в соответствующих информационно-технологических системах, и, конечно же, обученных сотрудников;
- и многих других.

Из-за «универсальности» деятельности проблематика МКД затрагивает многие области знаний. Соответственно, МКД связана со многими разделами науки и многими интеллектуальными традициями, поэтому имеет смысл кратко перечислить факторы новизны предложенных подходов:

- Предложены унифицированные средства формального описания и анализа любой КД.
- Проанализирована роль неопределённости и показано, что сложность деятельности заключается в проявлениях неопределённости и её преодолении. Неопределённость реализуется в форме наступления априори непредсказуемых событий, и реакцией на это может быть новая деятельность, отсутствовавшая до их наступления. КД, несмотря на сложность, в основном «механистична», и априори она «проектируется» детерминированной. В подавляющем большинстве примеров КД неопределённость хотя и оказывает влияние на неё, но реакция на неопределённость формируется вовне: например, рабочий-сборщик авиастроительного предприятия, столкнувшись с проблемой, не имеет права изменять технологию работы или вносить изменения. Он обязан строго соблюдать технологические регламенты и оперативно сообщить о проблеме своему начальнику и далее в инженерные подразделения. Эта сложность проявляется в необходимости создания новых технологий деятельности [20].
- Формализованы и исследованы такие виды деятельности как *управление* и *организация*. Выявлены и изучены компоненты организации: *анализ, синтез и конкретизация*, а также компоненты *управления: организация, регулирование и оценивание*.
- Выявлена роль технологии деятельности: действительно «сложна» деятельность, связанная с созданием технологии; вся остальная деятельность, включая организацию и управление, – регулярна! Управление и организация становятся «сложными», когда в ходе их выполнения из-за наличия неопределённости приходится создавать технологию новой деятельности, т.к. известной технологии становится недостаточно для адекватной реакции на неопределённость.

Модели, составляющие разработанную теорию, являются разнообразными и достаточно многочисленными, что отражает естественную сложность КД как системы, поэтому моделирование большого количества конкретных элементов КД является достаточно трудоёмким. Однако система моделей построена таким образом, что не требует обязательного описания каждый раз «всей» КД. Она позволяет абстрагироваться и сфокусироваться на представляющих интерес элементах и подробно моделировать именно их, оставляя абстрактными «чёрными ящиками» остальные, не теряя при этом выразительных свойств моделей и не ухудшая качества представления.

4 Комплексная деятельность и организационно-технические системы

Деятельность, как целенаправленная активность человека, является настолько же общим аспектом его существования, как и удовлетворение им базовых потребностей. Однако, в отличие от последних, КД достаточно сложна, вместе с этим, сложен и субъект КД. В современном мире подавляющая часть валового продукта (как результата человеческой деятельности) создаётся в рамках предприятий, фирм, организаций, проектов, проектных программ, государственных, региональных и муниципальных агентств и образований, транснациональных корпораций, их подразделений, а также различных объединений и композиции всех вышеперечисленных объектов вместе со связанными с ними всевозможными информационными и техническими объектами, системами, устройствами. Все эти объекты объединяют несколько оснований: во-первых, они являются *сложными системами*, во-вторых, включают в качестве элементов *людей*, в-третьих, существенная доля их составных частей является *искусственной*, то есть созданной человеком. Объединяя подобные объекты по перечисленным основаниям, можно отнести их к ОТС.

Понятие ОТС охватывает практически все используемые и создаваемые в результате человеческой деятельности системы, в состав которых входят люди. С одной стороны, ОТС

являются результатами и предметами человеческой деятельности, а с другой – человеческая деятельность реализуется в рамках ОТС - ОТС выступают в качестве сложных субъектов деятельности. Т.е. ОТС являются субъектами, предметами и/или средствами КД.

Таким образом, КД и ОТС вместе образуют сложную *диалектическую пару* и двояко противостоят друг другу (см. рисунок 2): «субъект (ОТС) vs деятельность» и «деятельность vs предмет (в частном случае - ОТС)».

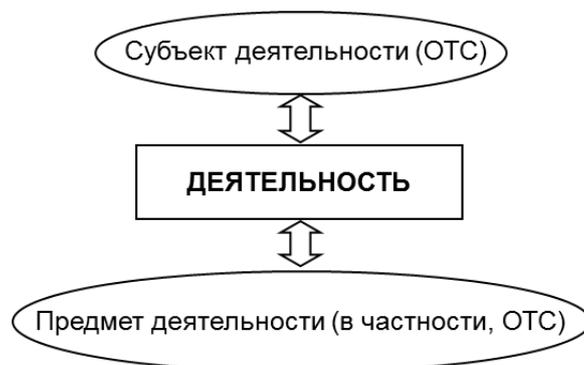


Рисунок 2 - Деятельность, её субъект и предмет

В паре КД и ОТС, КД является первичной по отношению к своему субъекту – неэлементарной ОТС. Из этого следует существенный практический вывод: при анализе, создании, управлении ОТС основное внимание необходимо уделять не самой ОТС, а КД, для реализации которой эта ОТС создана или привлечена. То есть, помнить о своего рода «вторичности» фирм, организаций, проектных команд, предприятий, и тем более, производственных и непроизводственных активов, по отношению к деятельности (целям, результатам), которую они призваны реализовывать. Фактически, КД задаёт требования к ОТС, которая является её субъектом. Для многих современных предприятий именно деятельность является *системообразующим фактором*. Не секрет, что многие организации функционируют ради самосуществования, осуществляя, например, поиск заказов для того, чтобы «прокормить» сотрудников, загрузить оборудование и т.д. Более ярким примером является бюрократия, которая зачастую сама «придумывает» деятельность для себя и других (подчиненных, населения и т.д.), чтобы оправдать своё существование и обеспечить собственный рост.

5 Модель элемента деятельности

Рассмотрим модель, описывающую элемент КД. В качестве основания естественно взять известную схему [1] процессуальных компонентов деятельности (см. рисунок 1). Часть компонентов, приведённых на указанном рисунке, относится к управлению, целеполаганию и ограничениям, являясь «организующей надстройкой» над другой, «осуществляющей», частью (см. рисунок 3). Важным фактором внешней (по отношению к деятельности) среды является спрос, который воспринимается субъектом и актуализируется им в форме уже его собственной внутренней потребности.

Процессуальные компоненты деятельности, приведённые на рисунке 3, отражают «элементарный цикл деятельности», в котором в соответствии с технологией предпринимается некоторые *действия*, приводящие к определённому *результату* (который в общем случае может и не совпадать с *целью*, как с желательным, предвосхищаемым образом результата деятельности). Последовательное прохождение этого цикла – от потребности до результата – будем условно называть *реализацией деятельности* или реализацией элемента деятельности.

Сконцентрируемся на «осуществляющих компонентах», а «организующие» - агрегируем. «Осуществляющими» компонентами являются технология, действие и результат.

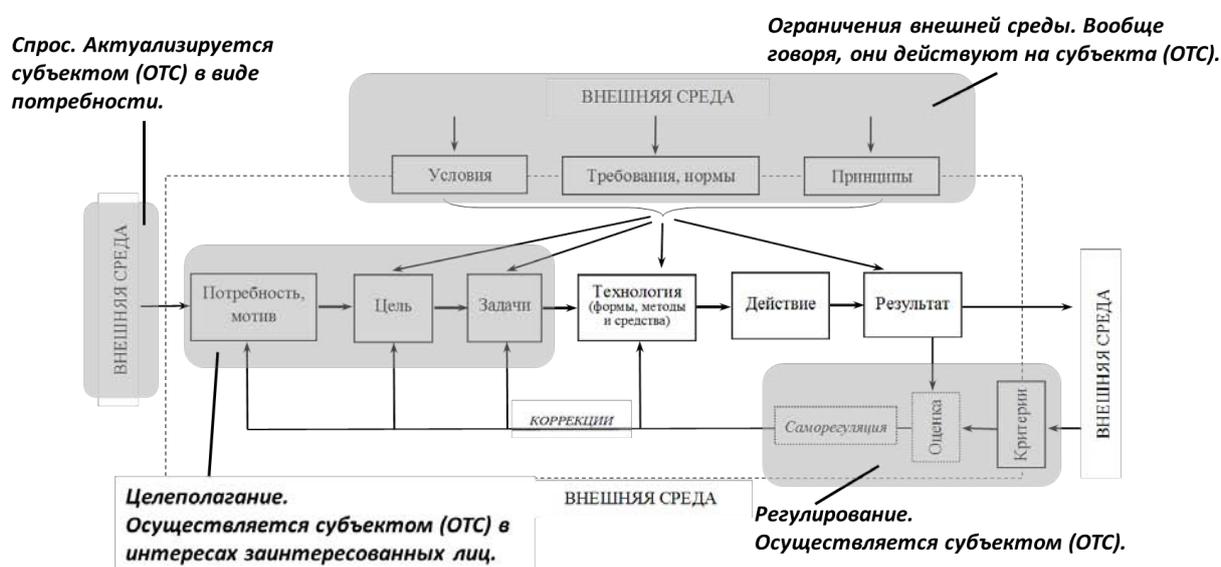


Рисунок 3 - Структуризация процессуальных компонентов деятельности

Кроме указанных компонентов, модель элемента КД следует дополнить компонентами, представляющими *субъект* и *предмет* КД (которые, строго говоря, не являются элементами собственно деятельности, но неотъемлемы от неё). Необходимость их включения объясняется несколькими факторами.

Во-первых, предметом МКД является сложная пара – КД, как первичный предмет, и ОТС, играющая роль субъекта/предмета деятельности, как вторичный, поэтому ОТС также является предметом рассмотрения.

Во-вторых, для практического использования методологии КД в качестве инструмента построения систем управления деятельностью и ОТС разрабатываемые модели должны обеспечивать формирование требований к ОТС, а для этого в модель необходимо включить субъект КД.

В-третьих, субъект деятельности всегда является активным, и свойства его активного, более того, рефлексивного, поведения требуют отражения и анализа. Субъект деятельности (ОТС) «сравним с исследователем (с системой управления) по совершенству» [20], поэтому его необходимо рассматривать в составе моделей КД.

В-четвертых, КД является сложной системой, поэтому при её анализе следует рассматривать также наиболее значимые элементы внешней (по отношению к деятельности) среды: это субъект, реализующий деятельность, и предмет деятельности, изменение которого и составляет суть последней. Субъект функционирует в условиях ограничений *внешней среды* и «транслирует» их в деятельность; также субъект воспринимает *спрос* - ожидания и интересы заинтересованных лиц, осуществляет целеполагание и управление деятельностью. Таким образом, субъект и предмет «инкапсулируют» всё взаимодействие внешней среды с деятельностью как системой.

В-пятых, в большинстве случаев именно на изменение предмета КД расходуется значительная часть ресурсов, поэтому для учёта использования ресурсов предмет деятельности неизбежно должен быть представлен в модели КД.

Введём понятие «структурный элемент деятельности» (СЭД), который будем понимать как имеющий приведённую на рисунке 4 структуру объект [2, 21]:

- созданный для достижения определённой цели / получения определённого результата (преобразования предмета деятельности);
- характеризующий деятельность (направленную на получение результата) в соответствии с определённой технологией над определённым предметом;
- субъектом которого является некоторая ОТС.

В терминах системотехники [8] деятельность «1» является целевой системой, предметы «3» – системами, выражающими операционное окружение, субъект (2) – системой, обеспечивающей целевую систему. Все элементы «1»-«3» образуют единую систему, ассоциированную с КД. Каждый из элементов триады «1»-«3» является системой, поэтому триада «1»-«3» является *системой систем*.

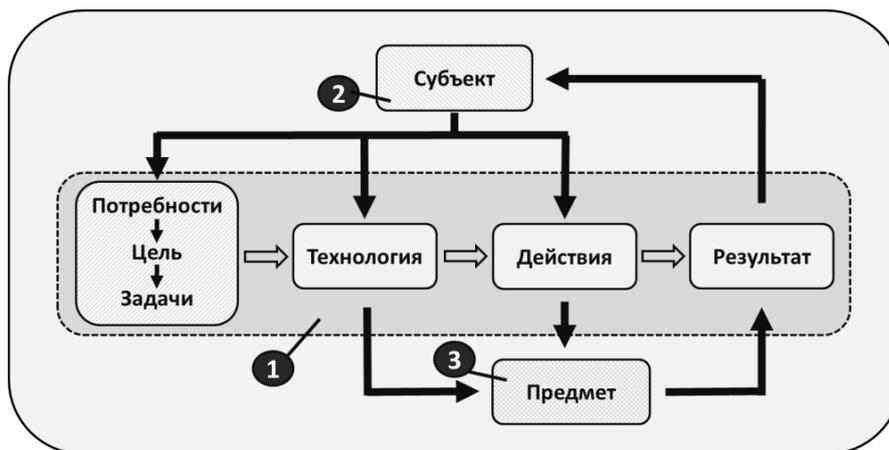


Рисунок 4 - Модель структурного элемента деятельности

На рисунке 4 стрелка от субъекта к целевому агрегату (потребность-цель-задачи) отражает тот факт, что именно субъект осуществляет целеполагание; от субъекта к технологии и действиям – что субъект реализует технологию совокупностью действий (действует соответственно технологии). Стрелка от результата к субъекту отражает оценку им результата, саморегуляцию и рефлексии субъекта. Стрелки от технологии и от действий к предмету означают, что предмет изменяется в результате действий соответственно технологии, от предмета к результату – что результат является конечным состоянием предмета, его эволюции в процессе деятельности.

Структура элемента КД (рисунок 4) фактически является композицией схемы процессуальных компонентов деятельности (рисунок 1) и схемы деятельности, её субъекта и предмета (рисунок 2).

СЭД будем использовать в качестве унифицированного формализма, типовой модели элементов КД. В силу сложности КД и принципа дополнительности, одной этой модели недостаточно для описания всех общесистемных характеристик КД. Поэтому в [6] представлены и другие виды моделей. Структурные модели КД обеспечивают моделирование нетривиальных структур КД. Процессные модели отражают реализацию стадий жизненного цикла (ЖЦ) элементов КД, их динамические аспекты. Формализм СЭДа используется во всех этих моделях в качестве основного и универсального элемента.

Итак, элементы КД описываются формализмом СЭДа (см. рисунок 4), сопровождаемым структурными и процессными моделями.

Введём ряд определений, конкретизировав категорию ЖЦ КД применительно к элементу КД.

«Реализацию СЭДа» или «Выполнение СЭДа» будем понимать как завершённый процесс, включающий осознание спроса и актуализацию потребности, целеполагание, структуризацию целей и задач, организацию структуры КД (СЭДов нижестоящего уровня), формирование технологии, выполнение действий (в соответствии с технологией), получение результата, рефлексию: «Реализация СЭДа» соответствует ЖЦ СЭДа. ЖЦ осуществляется в интервале времени.

«Завершение СЭДа» или «Получение результата СЭДа» будем понимать как завершение выполнения действий в соответствии с технологией СЭДа, получение результата и завершение процесса рефлексии. «Завершение СЭДа» не эквивалентно достижению цели СЭДа, т.к. результат может не полностью соответствовать цели. «Завершение СЭДа» характеризуется моментом времени.

Понятия «СЭД» и «элемент КД» будем употреблять как взаимозаменяемые, если это не приводит к неточностям.

Методически важным для корректного построения моделей является частный случай элемента КД, имеющий тривиальное структурное и процессное представления, для его обозначения используется термин *элементарная операция*. Этот случай соответствует элементарной деятельности, имеющей единственную цель, не допускающей или не требующей дальнейшей детализации, и у которой все стадии ЖЦ и/или все процессуальные компоненты, кроме действия, вырождены. Элементарная операция отражает случай, когда фиксация спроса субъектом означает начало выполнения единственного действия, а оценка результата как самостоятельная стадия отсутствует. Детальное рассмотрение стадий ЖЦ элементарной операции не даёт дополнительных знаний, весь ЖЦ можно считать единой стадией «действие и получение результата».

Из определения элементарной операции следует, что её структурные и процессные представления являются тривиальными и состоят из единственного модельного элемента. В этом смысле элементарная операция играет в методологии КД роль тривиального элемента деятельности.

Таким образом, любой СЭД является композицией других элементов КД - СЭДов и/или элементарных операций, а любая элементарная операция является «вырожденной композицией, состоящей из самой себя». Причём это относится как к декомпозиции по элементам структуры, так и по фазам и стадиями ЖЦ КД.

Элементарность операции, очевидно, зависит от точки зрения исследователя. В зависимости от решаемых задач в каких-то случаях имеет смысл абстрагироваться от деталей и считать достаточно сложные элементы КД единым объектом, следовательно, в модели описывать их элементарной операцией, или наоборот, детализировать интуитивно простые элементы для получения нетривиальных выводов. Все *общесистемные модели*, и структурные, и процессные, построены на основании этого приёма.

6 Модели и структуры комплексной деятельности

Интегрированная совокупность моделей КД, которые отражают общесистемные свойства КД, описывают её как систему в единстве своих компонентов (потребностей, отражающих в т.ч. спрос, целей, технологий и т.д.) вместе с субъектами и предметами [12, с. 8] на всём ЖЦ КД включает следующие компоненты [6].

- СЭД и элементарная операция;
- логическая структура/модель, отражающая состав и декомпозицию СЭДа на элементы, а также подчинённость субъектов КД (на уровне одного СЭДа - это частный случай структуры – верная структура);

- причинно-следственная структура/модель, отражающая причинно-следственные, то есть технологические связи элементов нижестоящего уровня;
- процессная структура/модель, отражающая реализацию ЖЦ КД во времени;
- модели порождения элементов КД.

Сформированная совокупность моделей составляет *типовое описание* КД, которое, будучи конкретизировано и дополнено специфическими деталями, пригодно для использования в качестве методологической основы описания, анализа, прогнозирования и формирования рекомендаций по организации и управлению любой конкретной КД. Типовое описание КД является аналогом архитектурного шаблона (architecture framework); концепция архитектуры и архитектурных шаблонов широко используется в системотехнике [7].

Модели разрабатывались таким образом, чтобы, с одной стороны, отражать и учитывать все общесистемные характеристики КД, а с другой – абстрактно представлять все специфические особенности. То есть совокупность данных моделей является определённым «шаблоном» - априори сформированной общей структурой, которая создаёт единое целостное описание КД, интегрируя составные части двух видов. Первые из них выражают общесистемные характеристики деятельности в виде уже готовых «моделей», а вторые созданы в форме определённых абстрактных «слотов» для описания специфических деталей.

Логическая структура КД. КД отличается множественными технологиями, субъектами и/или предметами деятельности, когда одним из предметов одной КД являются элементы другой комплексной или элементарной деятельности. Имеет смысл отметить «*фрактальное*» свойство КД: во многих случаях КД декомпозируется на элементы, которые в свою очередь являются КД, элементы образуют многоуровневые иерархии – *логическую структуру* КД.

Вышестоящие элементы в таких иерархиях не только декомпозируются в виде совокупностей нижестоящих, но также в определённом смысле побуждают к выполнению деятельности нижестоящие и являются потребителями результатов их КД. Поэтому будем говорить, что вышестоящие элементы КД создают *спрос* по отношению к деятельности нижестоящих и являются *пользователями или потребителями результата их КД*. Спрос может иметь детерминированный или неопределённый характер. Спрос актуализируется субъектами нижестоящих элементов и «становится» их потребностями (рисунок 1), для удовлетворения которых ими реализуется деятельность, результаты которой в свою очередь «потребляют» вышестоящие элементы КД.

Причинно-следственная (временная) структура КД. Элементы КД находятся в причинно-следственных отношениях друг с другом, образующих *временную структуру* КД.

Цель каждого СЭДа декомпозируется на подцели нижестоящего уровня, между которыми существуют причинно-следственные связи. Технология КД определяет причинно-следственные связи между целями КД – СЭДами и элементарными операциями: например, те же проектные, монтажные, ремонтные и другие работы должны выполняться в определённой последовательности для получения требуемого результата. С другой стороны, КД свойственна существенная неопределённость, которая также сказывается на последовательности выполнения элементов КД.

Причинно-следственная структура отражает технологические связи КД, являясь фактически общесистемной технологией КД, в то время как элементарные операции (их содержание) и сами причинно-следственные связи представляют специфическую часть КД.

Процессная структура КД. Процессные модели вместе со структурными моделями и моделями порождения составляют ядро методологии КД и типовое описание КД, являющееся аналогом архитектурного шаблона.

ЖЦ различных СЭДов, отражаемые в процессных моделях КД, идентичны – состоят из одних и тех же фаз, стадий и этапов; различные элементы деятельности имеют те же самые

процессуальные компоненты. Поэтому структура процессной модели едина для различных СЭДов, она общесистемна. Специфика СЭДов – в их целевой структуре и технологии.

7 Жизненный цикл и комплексная деятельность

Под ЖЦ будем понимать (беря за основу определение [8]) процесс эволюции системы, продукта, сервиса, проекта или иного объекта, начиная от концепции (или появления) и заканчивая утилизацией (или прекращением существования).

ЖЦ обычно рассматривается как совокупность стадий (возможно параллельных и перекрывающихся друг с другом по времени), в [8] выделяются наиболее общие *стадии ЖЦ* сложной искусственной системы: концепция, проектирование, производство/создание, применение, поддержка и утилизация. Концепция ЖЦ широко применяется также и к организациям, бизнесам, проектным программам, сотрудникам, производственным активам, технологиям, знаниям. Распространение данной концепции вызвано потребностью более эффективно управлять процессами создания и оперирования предметами деятельности.

Концепцию ЖЦ будем применять для нескольких «объектов». Во-первых, ЖЦ системы, продукта, объекта является одной из форм организации КД, и в этом случае будем говорить о *ЖЦ предмета деятельности* или *ЖЦ объекта*. Во-вторых, сама КД, будучи сложной системой, эволюционирует во времени (от момента зарождения или фиксации потребности до завершения действий и рефлексии). Поэтому понятие *ЖЦ КД (или её элемента)* рассматривается как завершённый процесс, включающий фиксацию спроса и осознание потребности, целеполагание, структуризацию целей и задач, выбор и формирование технологии, выполнение действий в соответствии с технологией, получение результата, оценивание результата и рефлексия. ЖЦ КД является фактически «развёртыванием во времени» процессуальных компонентов деятельности, его структура приведена на рисунке 5.

Временную структуру ЖЦ будем представлять в виде стадий. Стадии ЖЦ КД целесообразно объединить в *фазы*, как это делается в ОМ [1]. В общем случае процесс реализации ЖЦ КД является итеративным, его стадии могут повторяться и перекрываться, особенно это относится к стадиям формирования технологий и выполнения действий. Итеративность ЖЦ КД отражает рефлексивный характер КД, один из свойственных ей циклов рефлексии.

Одной из причин возникновения концепции ЖЦ является разделение или распределение по времени периодов получения определённых эффектов, выгод, полезности и приложения усилий и затрат.

Рассмотрим ЖЦ как форму организации КД, введя фазы, стадии и этапы КД, приведённые на рисунке 5 и в таблице 1. Возникает потребность рассматривать предмет деятельности и анализировать деятельность, связанную с этим предметом, на всех фазах и стадиях ЖЦ. Фактически это различные деятельности, связанные сквозным образом единым предметом и «*информационной моделью*» - информацией о нём и об используемых технологиях.

Во многих случаях КД на всём ЖЦ предмета характеризуется повторяемостью элементов деятельности, тогда суждение о деятельности (её результативности или эффективности) можно делать на основе не единичных случаев, а только представительной выборки.

Следовательно, необходимо рассматривать КД в течение ЖЦ её предмета - расширенного интервала времени, на котором взаимодействуют субъекты и предметы деятельности.

Важно заметить, что в случае многократно повторяемой деятельности, например, серийного производства, понятие ЖЦ может применяться как к конкретным экземплярам изделий, так и к совокупностям однородных экземпляров – ко всей серии. Если в первом случае говорят о ЖЦ предмета деятельности, то во втором случае имеет смысл говорить о ЖЦ *технологии деятельности* или ЖЦ потребности.

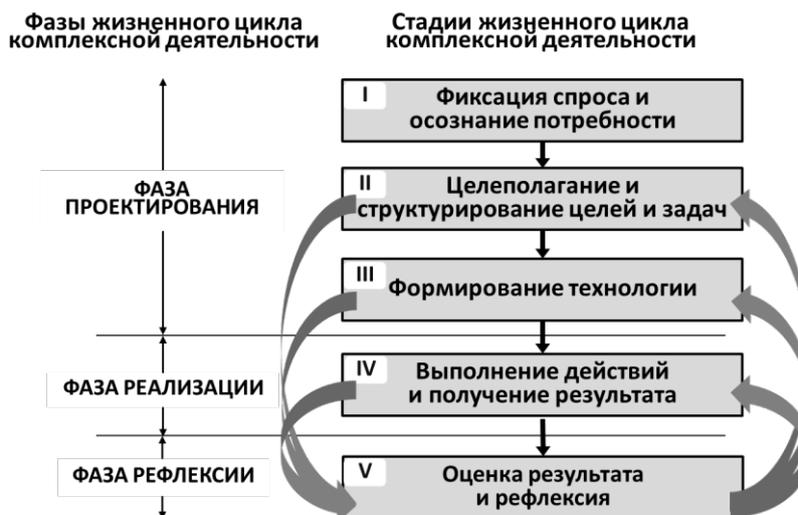


Рисунок 5 - Фазы и стадии жизненного цикла комплексной деятельности

Таблица 1 - Фазы, стадии и этапы жизненного цикла комплексной деятельности

Фаза	Стадия	Название этапа		
Проектирование	I. Фиксация спроса и осознание потребности	1. Фиксация спроса и осознание потребности		
		II. Целеполагание и структурирование целей и задач	2. Создание логической модели	
			III. Формирование технологии	3. Проверка готовности технологии и достаточности ресурсов
				4. Создание причинно-следственной модели
				5. Создание технологии нижестоящих элементов
				6. Формирование/модернизация ресурсов
				7. Календарное и ресурсное планирование
				8. Оптимизация
				9. Назначение субъектов и определение ответственности
				10. Назначение ресурсов
Реализация	IV. Выполнение действий и получение результата			11. Выполнение действий и получение результата
Рефлексия	V. Оценивание результата и рефлексия	12. Оценивание результата и рефлексия		

В целом, концепция ЖЦ может быть применена к элементам деятельности, технологии, потребности, а также - к предметам и субъектам (индивидуальным или коллективным) – см. рисунок 6 и 7. В течение ЖЦ КД могут изменяться и/или технологии, и/или субъект, и/или роль предмета в его целевом контексте (например, изменение требований к нему). Объект ЖЦ может существенно изменить свои свойства/статус/форму существования в течение ЖЦ, поэтому и деятельность тоже может соответственно изменить свой характер. Объект ЖЦ, как правило, в течение своего ЖЦ пребывает в различных формах воплощения.

Сначала он находится в информационной форме воплощения (стадии *проектирования*), потом в переходной форме (стадия создания, организации, *производства*), потом в целевой форме (произведён, создан). В целевой форме он сначала не используется по назначению (*тестирование*, сертификация), потом используется по назначению, выполняет свои целевые

функции (*эксплуатация*) и реализует ожидаемую полезность. По завершению стадии использования объект ЖЦ снова пребывает в переходной форме – *утилизируется*, после чего бесконечно долго может оставаться в информационной форме в виде ретроспективных данных.

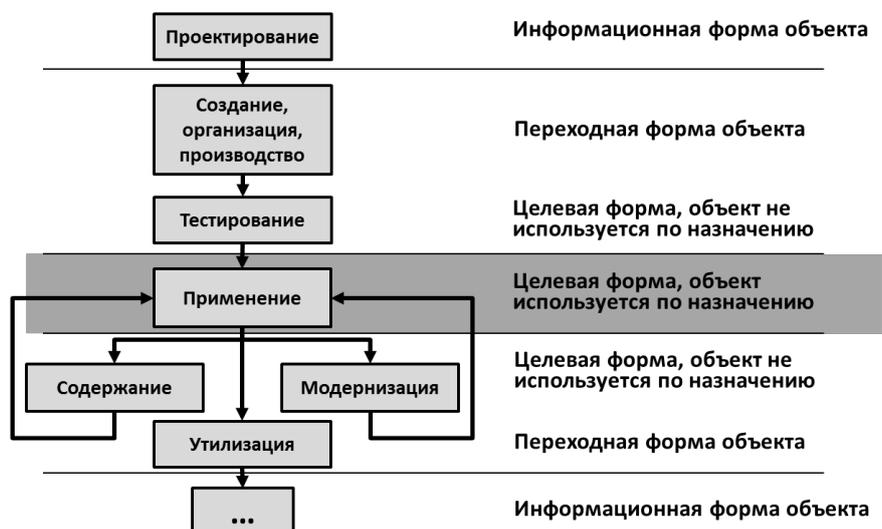


Рисунок 6 - Стадии жизненного цикла и формы существования объекта



Рисунок 7 - Жизненные циклы элемента комплексной деятельности и его предмета

Рисунок 6, на котором изображены стадии типового ЖЦ, хорошо иллюстрирует приведённый тезис о том, что целевая полезность объекта ЖЦ реализуется всего лишь в течение одной стадии - целевого использования, в то время как в течение всех остальных необходимо выполнять соответствующую деятельность и нести затраты.

КД свойственна сложная структура, множественные предметы и субъекты, поэтому ЖЦ КД (рисунок 5) и ЖЦ предмета деятельности (рисунок 6) в общем случае могут соотноситься различным образом. На рисунке 7 представлен один из вариантов.

ЖЦ элементов КД также характерна *фрактальность* – каждая из фаз КД может (при необходимости) рассматриваться как «самостоятельная» деятельность (комплексная или элементарная) и/или как оперирование с предметом деятельности - см. рисунок 8.

В сложной структуре КД технология и субъект одного элемента деятельности могут являться предметами других элементов КД, следовательно - быть предметами ЖЦ. В свою

очередь, элемент деятельности, которая организована в форме такого ЖЦ (ЖЦ технологии или субъекта в данном случае), имеет свой ЖЦ (см. рисунок 8). Также можно говорить, что КД реализуется в виде комбинации нескольких *форм*, представленных на рисунке 9.

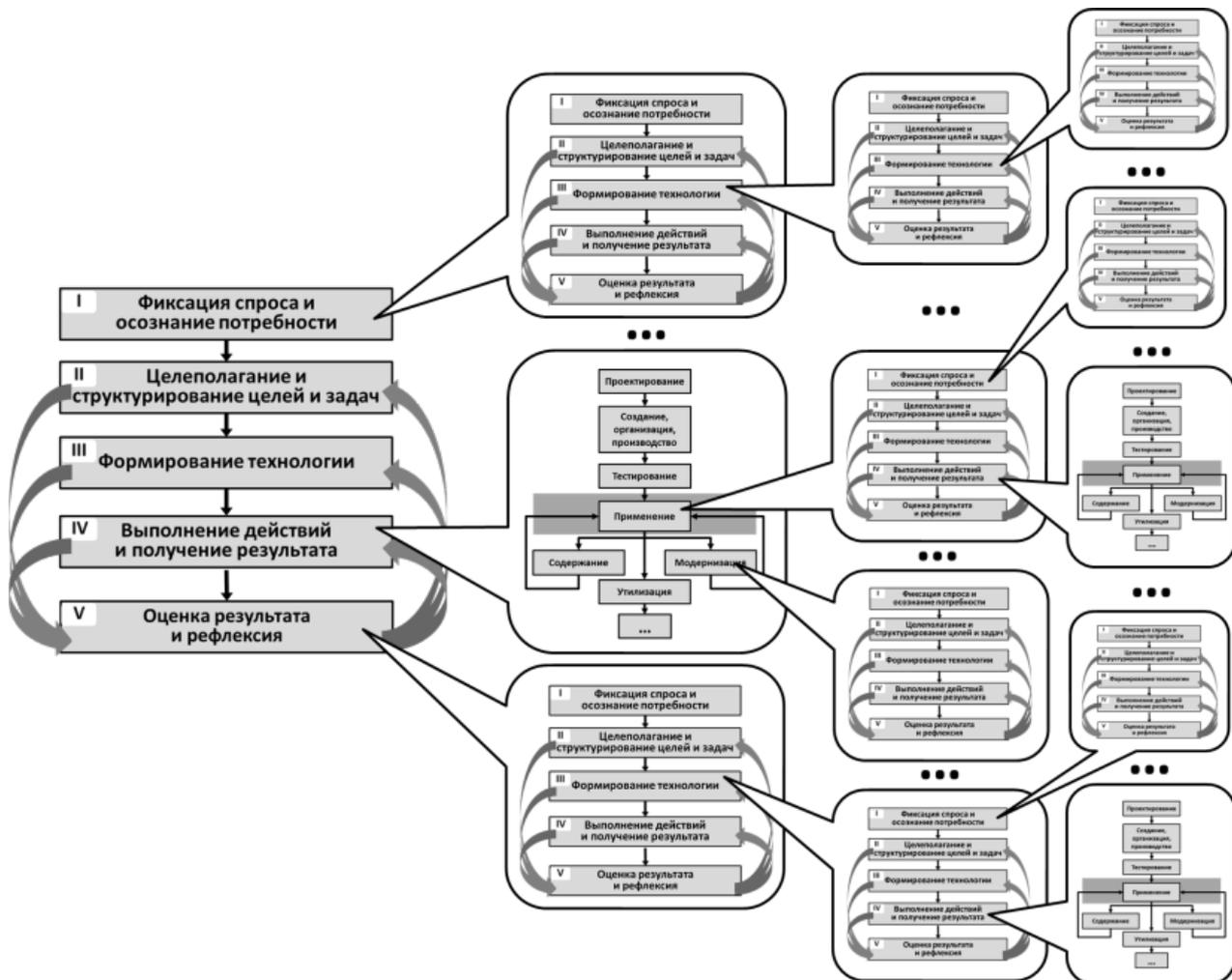


Рисунок 8 - Фрактальная структура комплексной деятельности

Они перечислены в историческом порядке появления в практике¹ и в порядке возрастания сложности («вложенности» друг в друга):

- элементарные операции (работы) являются в определённом смысле атомарными элементами;
- комплексные операции состоят из элементарных и комплексных операций;
- проекты состоят из комплексных, элементарных операций и подпроектов;
- проектные программы формируются из проектов, комплексных и элементарных операций;
- ЖЦ рассматриваются как связанная совокупность проектных программ и проектов.

¹ Исторический анализ соотношения процессной и проектной форм организации деятельности ещё ждёт своего систематического изучения (см. в т.ч. исторические типы организационной культуры в [1]). Отметим лишь, что и процессы, и проекты существовали в общественно-исторической практике всегда. Институализируются процессы, наверное, во время первой промышленной революции, проекты – в середине XX века, жизненные циклы – в его конце.

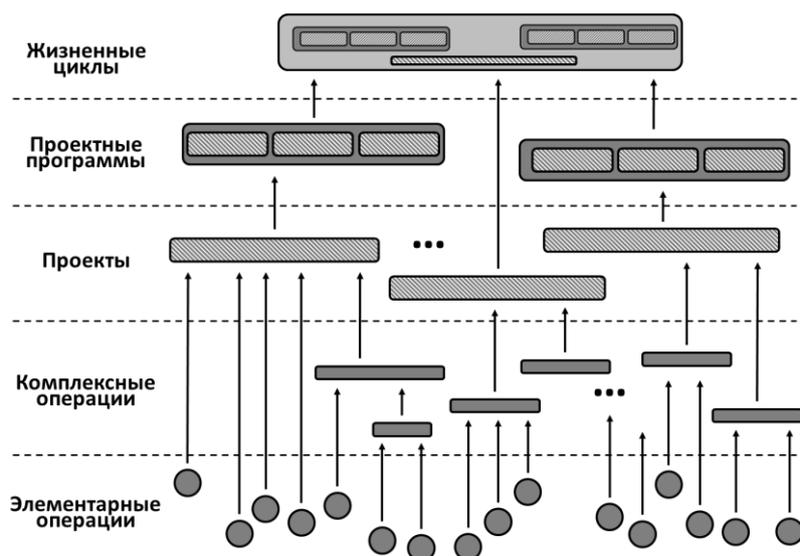


Рисунок 9 - Формы организации комплексной деятельности

8 Неопределённость комплексной деятельности

В общем случае для любой деятельности характерна неопределённость, и она имеет существенное значение, особенно для КД. При рассмотрении неопределённости КД будем использовать идеи F. Knight [22], который, во-первых, разделял измеримую и истинную неопределённость, во-вторых, считал неопределённость источником не только негативных проблем, но и развития.

Неопределённостью КД будем называть возможность наступления в ходе КД некоторых событий, влияющих на реализацию КД и на её результат, но которые могут наступить, а могут и не наступить. Следствием неопределённости КД является невозможность априори предсказать характеристики результата деятельности, момент его получения и усилия (ресурсы), которые будут для этого затрачены.

Измеримую неопределённость КД определим как возможность наступления описываемых некоторыми закономерностями событий (которые могут наступить, а могут и не наступить). Для анализа таких событий могут быть использованы количественные методы (например, вероятностные/статистические), основанные на предыдущих измерениях или фундаментальных законах (вместе с предположением о неизменности условий и закономерностей).

Истинной неопределённостью КД назовём возможность наступления уникальных (или редко повторяющихся) событий, которые не объясняются известными закономерностями. В управлении проектами истинную неопределённость иногда называют непредвиденными рисками.

Принципиальным отличием истинной неопределённости от измеримой является то, что события первой из них возникают вследствие непознанных факторов, в то время как события второй, хотя и непредсказуемы, описываются известными закономерностями.

Так как КД неразрывно связана с субъектом деятельности, то важным источником как истинной, так и измеримой неопределённости является активность субъекта, его поведение, его целенаправленный выбор. Неопределённость КД может порождаться различными источниками, связанными со всеми процессуальными компонентами деятельности (рисунок 1). Однако это влияние носит различный характер, поэтому выполним группировку источников неопределённости и будем использовать её в дальнейшем изложении. Для этого рассмотрим

последовательно все процессуальные компоненты деятельности (рисунок 1) и перечислим источники неопределённости, связанные с каждым из них [6]:

- *неопределённость потребности* вызвана, с одной стороны, *неопределённостью* внешнего по отношению к КД *спроса* со стороны заинтересованных лиц, с другой стороны – осознанием субъектом этой потребности и превращения этого «внешнего» спроса в его внутреннюю потребность;
- *неопределённость целей и задач* зависит, во-первых, от неопределённости потребности, во-вторых, от целеполагания субъекта, в-третьих, от неопределённости внешней среды;
- *неопределённость условий, требований, норм и принципов* определяется факторами неопределённости внешней среды;
- *неопределённость технологии* и предмета зависит, во-первых, от внешней среды (через условия, требования и нормы), во-вторых – от неопределённости (внутренних) средств, методов и факторов;
- *неопределённость действий и результата* является вторичной по отношению к неопределённостям субъекта, технологии, предмета и внешней среды;
- *неопределённость оценки, критериев, саморегуляции*, помимо внешних условий деятельности, полностью зависит от активного поведения субъекта и его рационального выбора.

Следует отметить *активность субъекта* КД, т.е. его способность в общем случае влиять на внешнюю среду – на формирование внешних потребностей, нормативов, условий и т.д.

Сгруппируем источники неопределённости, выделив следующие первичные группы:

- неопределённость внешней среды – внешнего спроса и внешних условий, требований и норм;
- неопределённость технологии и предмета – средств, методов и факторов;
- неопределённость субъекта – осознания внешней потребности, целеполагания, осуществления действий, оценивания результата принятия принципиального решения о том, выступать ли ему в роли субъекта КД.

В каждой из групп могут встречаться случаи как измеримой, так и истинной неопределённости.

9 Требования к методологии комплексной деятельности

Для определения требований к МКД как к целостной системе моделей КД используем методы системотехники [7], в частности *моделeorientированный* [23] и *архитектурный* [24] подходы.

Архитектура сложной системы определяется [24] как фундаментальный концепт того, как основные свойства и функции системы реализуются элементами системы в их взаимосвязях. Архитектурные описания отражают и выражают этот фундаментальный концепт и широко используются для создания (проектирования) систем, понимания сущности системы, её ключевых свойств, поведения и эволюции. Архитектурный подход [24] постулирует, что в силу сложности системы для адекватного и полного её описания необходимо использовать множество моделей. Поэтому рекомендуется формировать архитектурное описание системы в виде структурированного множества взаимосвязанных моделей, которые отражают различные свойства системы. Полезным инструментом являются *архитектурные шаблоны* – соглашения, принципы и практики формирования архитектурных описаний в определённой прикладной области, прежде всего описаний предприятий и организаций.

В области знаний «системотехника» архитектура является определённым аналогом методологии, поэтому системотехнические рекомендации по разработке и применению архи-

тектуры полезны при создании МКД. Будем рассматривать МКД в стиле архитектурного шаблона – как совокупность моделей, отражающих основные особенности КД.

Соответственно моделированию и архитектурному подходу система моделей КД должна составлять взаимосвязанное множество моделей-элементов, представляющих основные свойства и аспекты системы, включая её состав, структуру, функции, поведение, требования и параметры. В каждый момент времени любая система пребывает в некотором *состоянии* и обладает какой-то структурой, что составляет статический аспект системы. Процессы отражают *динамику системы*, описывая то, как система меняет свое состояние, а также как изменяются её состав, структура и функции. *Сложность* системы отражается средствами декомпозиции и агрегирования структурных элементов и процессов.

Такой механизм позволяет фокусировать внимание на исследуемых в данный момент деталях, оставляя остальное в виде менее детально описанного контекста.

Итоговый базис требований к единой системе моделей КД, составляющих ядро МКД, представим следующим перечнем:

- 1) МКД должна включать модели как элементарной, так и КД, т.е. как обладающей внутренней структурой, так и не обладающей ею. Поэтому необходимы модели элементов деятельности и инструменты их комплексирования.
- 2) КД обладает логической структурой, в общем случае многоуровневой. Так как элементы КД различных уровней сами являются КД, то структурные модели КД должны отражать её иерархичность, вложенность и фрактальность.
- 3) Технология КД задаёт причинно-следственные связи между элементами КД, следовательно МКД должна содержать причинно-следственные модели КД.
- 4) КД является целенаправленной, поэтому МКД должна позволять описывать и анализировать структуру целей КД, а также характеристики степени достижения целей, создания в результате КД ценности/полезности.
- 5) Элементы КД существуют во времени: потребности в результатах КД возникают, порождают элементы КД, которые реализуются и потом прекращают свое существование. МКД должна описывать ЖЦ элементов КД.
- 6) МКД должна позволять описывать и анализировать неопределённость КД (измеримую и истинную), реализующуюся в виде наступления априори непрогнозируемых событий. Реакцией на неопределённость (наступление событий) является порождение новой деятельности (отсутствовавшей до наступления события) с известной или требующей создания новой технологией. МКД должна описывать порождение новых элементов КД.
- 7) МКД должна описывать создание новых технологий деятельности, как следствие требования б).
- 8) Используемые, потребляемые и накапливаемые в ходе реализации деятельности ресурсы являются существенным аспектом, влияющим на технологию, предмет и субъект КД. МКД должна содержать модели организации и использования ресурсов.
- 9) МКД должна включать модели таких видов деятельности, как организация и управление.
- 10) КД реализуется в виде элементов, каждый из которых условно относится к процессному или проектному типам, что необходимо учитывать в соответствующих моделях. МКД должна объединять проектный и процессный подходы в рамках единого формализма.
- 11) МКД должна представлять все современные формы организации деятельности: элементарные формы и комплексные операции; проекты и проектные программы; ЖЦ.
- 12) Множественные и сложные связи элементов КД и их субъектов, появление «мета-субъектов» КД, составляющих «мета-оргсистемы» (расширенные предприятия) являются существенными аспектами КД, которые необходимо учитывать в рамках МКД.

Требования 1)...9) являются основными – они определяют состав моделей МКД и ключевые требования к ним; требования 10)...12) задают дополнительные требования к моделям МКД.

10 Онтология базовых категорий КД

Онтология базовых категорий МКД приведена на рисунке 10 в виде диаграммы «сущности-отношения». Деятельность (её элементы), спрос, предмет, технология, ресурсы характеризуются каждый своим ЖЦ, поэтому актуальной является задача согласованного управления ЖЦ спроса, деятельности, её предмета и субъекта, знаний, технологий и организаций.

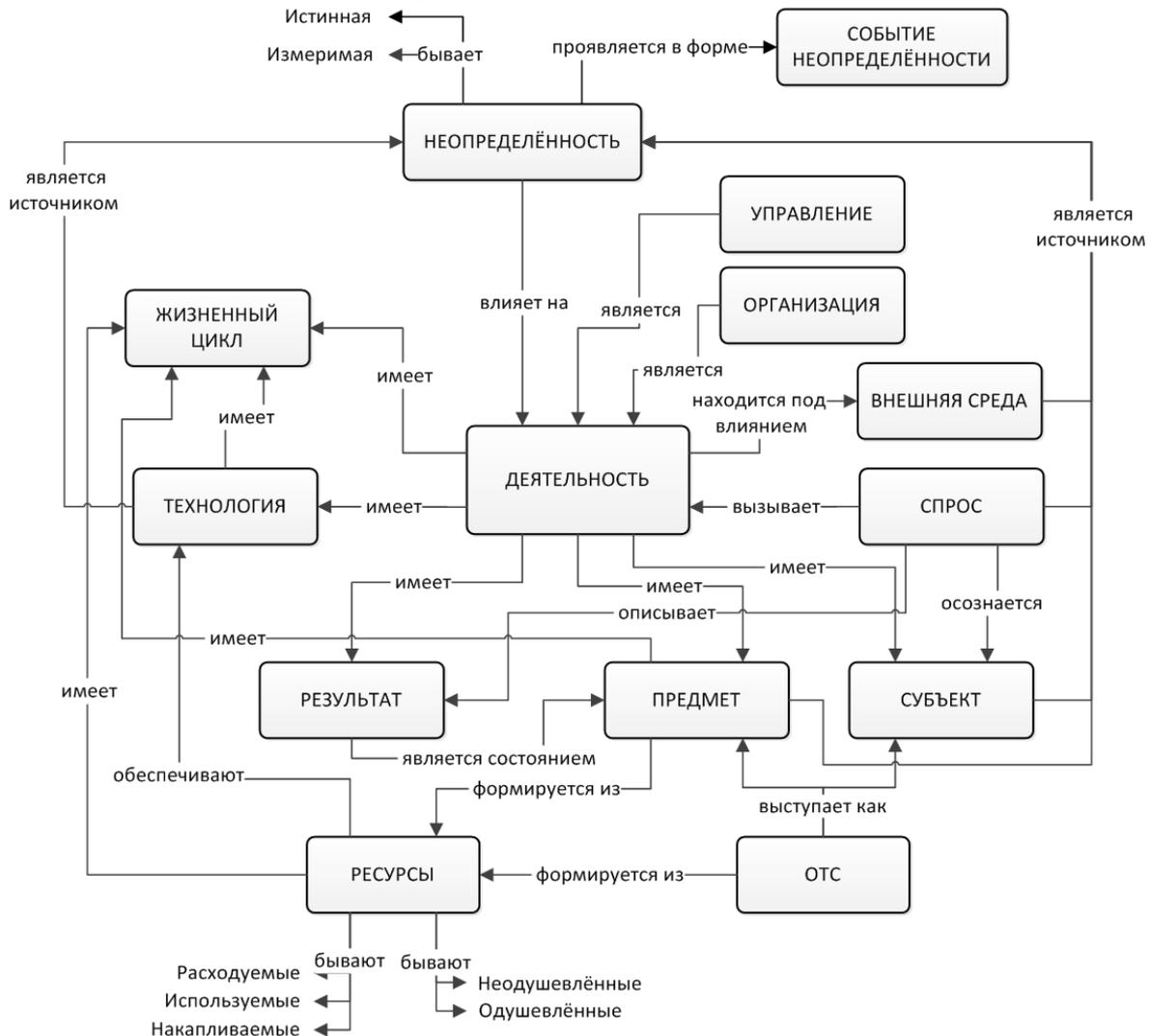


Рисунок 10 - Онтология базовых категорий методологии комплексной деятельности

11 Теория организации и методология

Теория организации исследует феноменологический (как организована система), объяснительный (почему именно так система организована) и нормативный (как система должна быть организована) аспекты организации систем различной природы [25, 26]. Одним из предметов организации может являться деятельность.

Изучением общих закономерностей организации деятельности занимается *методология* [1, 2, 9], т.е. методология – часть теории организации (исследует деятельность как предмет организации). Методология включает ОМ (методологию элементарной деятельности), методологии различных видов человеческой деятельности (частные методологии; на сегодняшний день - методологию научной, практической, образовательной, художественной и игровой деятельности [1]) и МКД, обобщающую общую и частные методологии.

Соотношение между *теорией организации*, МКД и ОМ представлено на рисунке 11, т.е. МКД может рассматриваться как «расширение» ОМ в направлении теории организации.



Рисунок 11 - Теория организации и методология

Развитие ОМ в МКД заключаются в следующем:

- в типовое описание деятельности в явном виде вводятся её субъект и предмет;
- предлагается типовая модель структурного элемента деятельности и правила оперирования ею для конструирования фрактальной структуризации деятельности;
- конструктивно описываются логическая, причинно-следственная и процессная структуры деятельности, отражающие, в том числе, структуру и содержание фазы реализации деятельности;
- выделяются и анализируются ключевые роли технологии и неопределённости деятельности;
- проводится совместное согласованное рассмотрение ЖЦ деятельности, её предмета, субъекта, ресурсов и технологий;
- анализируются организация и управление деятельностью.

Всё это позволяет не только исследовать общие закономерности КД, но и решать проблемы организации и управления ею, в том числе, её субъектом и/или предметом - сложными ОТС (см. также [27]).

Заключение

Являясь основой существования и развития цивилизации: бизнеса, производства, образования, искусства и др., - человеческая деятельность представляет собой, пожалуй, самый сложный из объектов для построения теории управления, разработки методов формального описания, оптимизации и управления ею. В том числе из-за того, что главным элементом субъекта деятельности является человек с его мыслями, чувствами и эмоциями или/и коллектив с его коллективным бессознательным [28]. Создать формальную теорию, описывающую такой «трансцендентный» объект, крайне сложно, также как формализовать теорию организации и управления этим объектом.

Авторами сделана попытка формирования такой теории в виде интегрированной совокупности формальных моделей деятельности и её субъекта.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-19-10609).

Список источников

- [1] *Новиков, А.М.* Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 2007. – 668 с.
- [2] *Новиков, А.М.* Методология научного исследования / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: Либроком, 2010. – 280 с.
- [3] *Новиков, А.М.* Введение в методологию художественной деятельности / А.М. Новиков. – М.: Эгвес, 2008. – 72 с.
- [4] *Новиков, А.М.* Методология учебной деятельности / А.М. Новиков. – М.: Эгвес, 2005. – 176 с.
- [5] *Новиков, А.М.* Введение в методологию игровой деятельности / А.М. Новиков. – М.: Эгвес, 2006. – 48 с.
- [6] *Белов, М.В.* Методология комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков. – М.: Ленанд, 2017. – 320 с.
- [7] INCOSE Systems Engineering Handbook Version 3.2.2 – A Guide for Life Cycle Processes and Activities / Ed. by C. Haskins. – San Diego: INCOSE, 2012. – 376 p.
- [8] ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes.
- [9] *Новиков, А.М.* Методология: словарь системы основных понятий / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: Либроком, 2013. – 208 с.
- [10] *Леонтьев, А.Н.* Деятельность, сознание, личность. – М.: Политиздат, 1975. – 304 с.
- [11] Механизмы управления: Управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль / Под. ред. Д.А. Новикова. Изд.2-е. – М.: Ленанд, 2013. – 216 с.
- [12] *Новиков, Д.А.* Методология управления / Д.А. Новиков. – М.: Либроком, 2011. – 128 с.
- [13] *Рубинштейн, С.Л.* Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. – М.: Учпедгиз, 1946. – 704 с.
- [14] *Шадриков, В.Д.* Психология деятельности и способности человека / В.Д. Шадриков. – М.: Логос, 1996. – 320 с.
- [15] *Engeström Y.* Learning by Expanding. - Helsinki: Orienta Konsultit, 1987. – 426 p.
- [16] *Engeström Y.* Learning by Expanding: An Activity-theoretical Approach to Developmental Research. 2nd ed. - Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 338 p.
- [17] *Платонов, К.К.* Краткий словарь системы психологических понятий / К.К. Платонов. – М.: Высшая школа, 1984. – 174 с.
- [18] *Engeström Y.* The Future of Activity Theory: a Rough Draft / Learning and Expanding with Activity Theory. Ed. by Annalisa Sannino, Harry Daniels and Kris Gutierrez. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 367 p.
- [19] Proceedings of the First International Workshop on Activity Theory Based Practical Methods for IT-Design ATIT-2004. 2-3. September 2004, Copenhagen, Denmark.
- [20] *Лефевр, В.А.* Конфликтующие структуры. 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1973. – 158 с.
- [21] *Belov, M.* General-System Modelling Framework of Complex Activity // 10th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation. Ed. D. Al-Dabass, V. Colla, M. Vannucci, A. Pantelous. IEEE Conference Record No. 40530. Pisa, 2016. - 241 p.
- [22] *Knight F.* Risk, Uncertainty and Profit / Hart Schaffner and Marx Prize Essays. No. 31. - Boston and New York: Houghton Mifflin, 1921. – 381 p.
- [23] *Estefan J.* Survey of Candidate Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies / International Council on Systems Engineering (INCOSE). INCOSE-TD-2007-003-02. - http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf.
- [24] ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and Software Engineering - Architecture Description.
- [25] *Богданов, А.А.* Всеобщая организационная наука. – М.: Экономика, 1989. Т. 1. – 304 с. Т. 2. – 351 с.
- [26] *Новиков, Д.А.* Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития / Д.А. Новиков. – М.: Ленанд, 2016. – 160 с.
- [27] *Rzevski G.* Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*, 2014; 4(14): 8-17.
- [28] *Агафонов, А.Ю.* Наука о сознании: нерешённые проблемы. *Онтология проектирования*, 2014; 2(12): 8-18.

STRUCTURE OF METHODOLOGY OF COMPLEX ACTIVITY

M.V. Belov¹, D.A. Novikov²

¹IBS, Moscow, Russia
mbelov@ibs.ru

²Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
novikov@tushino.com

Abstract

The work is devoted to the presentation of the concept of the methodology of integrated activities, developing a common methodology for the case of any complex (having a non-trivial multi-level internal structure) of human activity. The structural elements of complex activity are considered, it's logical, causal and process structures are constructively described. Considerable attention is paid to organization and management, uncertainty, as well as life cycles of activities, their subjects, items, resources, knowledge and technology. The use of the system of coordinated formal models ensures practical application of the results both by practitioners and by scientists engaged in research of general principles of organization of activities (practical, scientific, etc.) and management of organizational and technical systems. For the first time the formalism of the description of complex activities with the subject - the organizational and technical system was proposed. Formal models of organization and management as a complex activity have been developed.

Key words: complex activity, uncertainty, organization, management.

Citation: Belov MV, Novikov DA. Structure of methodology of complex activity [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 366-387. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.

Acknowledgment

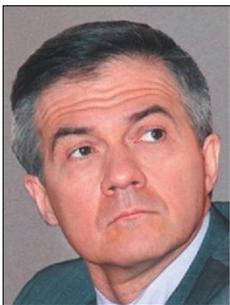
The studies were carried out within the framework of works supported by RSF № 16-19-10609).

References

- [1] *Novikov AM, Novikov DA*. Methodology [In Russian]. – Moscow: Synteg, 2007. – 668 p.
- [2] *Novikov AM, Novikov DA*. Research Methodology: From Philosophy of Science to Research Design. – Amsterdam, CRC Press, 2013. – 130 p.
- [3] *Novikov AM*. Introduction to the methodology of artistic activity [In Russian]. - Moscow: Egves, 2008. – 72 p.
- [4] *Novikov AM*. Methodology of training activities [In Russian]. – Moscow: Egves, 2005. – 176 p.
- [5] *Novikov AM*. Introduction to the methodology of gaming activities [In Russian]. – Moscow: Egves, 2006. – 48 p.
- [6] *Belov MV, Novikov DA*. Methodology of complex activity [In Russian]. – Moscow: Lenand, 2017. – 320 p.
- [7] INCOSE Systems Engineering Handbook Version 3.2.2 – A Guide for Life Cycle Processes and Activities / Ed. by C. Haskins. – San Diego: INCOSE, 2012. – 376 p.
- [8] ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes.
- [9] *Novikov AM, Novikov DA*. Methodology: the dictionary of the system of basic concepts [In Russian]. – Moscow: Librocom, 2013. – 208 p.
- [10] *Leontiev AN*. Activity, consciousness, personality [In Russian]. – Moscow: Politizdat, 1975. – 304 p.
- [11] Mechanism Design and Management: Mathematical Methods for Smart Organizations / Ed. by Prof. D. Novikov. – New York: Nova Science Publishers, 2013. – 163 p.
- [12] *Novikov D*. Control Methodology. – New York: Nova Science Publishers, 2013. – 76 p.
- [13] *Rubinshtein SL*. Fundamentals of General Psychology [In Russian]. – Moscow: Uchpedgiz, 1946. – 704 p.
- [14] *Shadrikov VD*. Psychology of human activity and ability [In Russian]. – Moscow: Logos, 1996. – 320 p.
- [15] *Engeström Y*. Learning by Expanding. - Helsinki: Orienta Konsultit, 1987. – 426 p.
- [16] *Engeström Y*. Learning by Expanding: An Activity-theoretical Approach to Developmental Research. 2nd ed. - Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 338 p.

- [17] **Platonov KK**. Brief Dictionary of the System of Psychological Concepts [In Russian]. – Moscow: High school, 1984. – 174 p.
- [18] **Engeström Y**. The Future of Activity Theory: a Rough Draft / Learning and Expanding with Activity Theory. Ed. by Annalisa Sannino, Harry Daniels and Kris Gutierrez. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 367 p.
- [19] Proceedings of the First International Workshop on Activity Theory Based Practical Methods for IT-Design ATIT-2004. 2-3. September 2004, Copenhagen, Denmark.
- [20] **Lefevre VA**. Conflicting structures. 2nd ed. - Moscow: Soviet radio, 1973. – 158 p.
- [21] **Belov M**. General-System Modelling Framework of Complex Activity // 10th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation. Ed. D. Al-Dabass, V. Colla, M. Vannuci, A. Pantelous. IEEE Conference Record No. 40530. Pisa, 2016. - 241 p.
- [22] **Knight F**. Risk, Uncertainty and Profit / Hart Schaffner and Marx Prize Essays. No. 31. - Boston and New York: Houghton Mifflin, 1921. – 381 p.
- [23] **Estefan J**. Survey of Candidate Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies / International Council on Systems Engineering (INCOSE). INCOSE-TD-2007-003-02. - http://www.omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf.
- [24] ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and Software Engineering - Architecture Description.
- [25] **Bogdanov AA**. General Organizational Science [In Russian]. – Moscow: Economy, 1989. V. 1. – 304 p. V 2. – 351 p.
- [26] **Novikov DA**. Cybernetica: from Past to Future. – Heidelberg: Springer, 2016. – 108 p.
- [27] **Rzewski G**. Self-organization in social systems. *Ontology of Designing*. 2014; 4(14): 8-17.
- [28] **Agafonov AY**. Science of consciousness: unsolved problems [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2014; 2(12): 8-18.

Сведения об авторах



Белов Михаил Валентинович, 1959 г. рождения. Окончил Московский инженерно-физический институт (1982), к.т.н. (1988). В настоящее время — заместитель генерального директора компании ИБС. Автор более 40 научных работ по системотехнике, теории систем, исследованию операций, организации и управлению производством, экономике и финансам.

Mikhail Valentinovich Belov (b. 1959) He graduated from the Moscow Engineering Physics Institute in 1982, Ph.D. (1988). At present he is Deputy Director General of IBS. He is the author of more than 40 scientific works on system engineering, systems theory, research of operations, organization and management of production, economics and finance.



Новиков Дмитрий Александрович, 1970 г. рождения. Окончил Московский физико-технический институт (1993). Доктор технических наук (1998), профессор, член-корреспондент РАН. В настоящее время — директор Института проблем управления Российской академии наук, заведующий кафедрой интегрированных киберсистем Московского физико-технического института. Автор более 500 научных работ по теории управления системами междисциплинарной природы, в том числе по методологии, системному анализу, теории игр, принятию решений и механизмам управления социально-экономическими системами.

Novikov Dmitry Alexandrovich (b. 1970) graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology (1993). Doctor of Technical Sciences (1998), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. Currently - Director of the Institute of Control Sciences of

the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Integrated Cyber Systems of the Moscow Institute of Physics and Technology. Author of more than 500 scientific works on the theory of management of systems of interdisciplinary nature, including methodology, system analysis, game theory, decision-making and mechanisms for managing socio-economic systems.

УДК 05.13.01

ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ

В.Я. Цветков¹, В.А. Мордвинов²

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

² Институт информационных технологий и автоматизированного проектирования Московского технологического университета (МИРЭА), Москва, Россия
caf.iis@yandex.ru

Аннотация

Предлагается метод исследования алгоритмов с онтологической позиции. Рассмотрены различные подходы к созданию и описанию алгоритмов. Выделяется точка зрения, согласно которой алгоритм - не только схема для вычислений, а инструмент познания и передачи знаний. Обосновывается связь алгоритмов с онтологиями. Дается систематика и категориальная классификация алгоритмов. На основе обобщения выделяют две группы алгоритмов: линейные и нелинейные. В этих группах выделены типичные подгруппы: прямые алгоритмы, циклические алгоритмы, стратифицированные алгоритмы, итеративные алгоритмы, инкрементные алгоритмы. Для инкрементных алгоритмов рассмотрены два варианта: последовательный и спиральный. Рассмотрен алгоритм сортировки. В статье использованы топологическое и формальное описания алгоритмов, выделено познавательное значение алгоритмов. Отмечено наличие алгоритмов количественной обработки и качественного анализа. Применяемое обобщение одинаково распространяется на оба вида алгоритмов. Отмечается необходимость дальнейшего исследования алгоритмов как инструмента познания и передачи знаний.

Ключевые слова: алгоритмы, онтологии, знание, обобщение, топологические модели, формальные модели, инкрементные модели, прикладная онтология.

Цитирование: Цветков, В.Я. Подход к систематизации алгоритмов / В.Я. Цветков, В.А. Мордвинов // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 7, №4(26). – С. 388-397. –DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-388-397.

Введение

Создание алгоритмов связано с проектированием и моделированием. Онтологии алгоритмов могут относиться к области онтологий проектирования [1] или к онтологии моделирования [2]. Сравнивая концепции, описанные в указанных работах, по большему числу признаков онтологии алгоритмов следует отнести к онтологиям моделирования. В то же время, точка зрения авторов данной статьи отличается от принципов, изложенных в работе [2]. После концептуальной модели автор этой работы ставит объектную и трансформационную модели. В реальности каждый алгоритм обладает функциональностью, которая в работе [2] не рассматривается. Именно функциональность отражает главную роль алгоритма. Аспект функциональности в работе [2] не отражен, но это вполне объяснимо, поскольку она ориентирована в первую очередь на ситуационное управление и во вторую на моделирование, а не на алгоритмы. Другая сторона создания алгоритмов связана с их технологической направленностью на обработку информации и прямо не связана с онтологической составляющей. В известной работе Т. Кормена [3], многократно переизданной [4], на которую существует более 4000 ссылок, заложены канонические основы построения алгоритмов. Эти основы направлены на методы вычислений. Однако в книге слабо представлен системный анализ.

Достаточно отметить, что базовым принципом построения алгоритмов во введении поставлен эвристический принцип «разделяй и властвуй». Де-факто это относит такой подход в область эвристики и когнитивного анализа. Но эти аспекты не рассматриваются в работе [3]. По мнению авторов данной статьи, современные алгоритмы можно рассматривать как сложные системы, поскольку они обладают многими соответствующими признаками. Алгоритм можно отнести к классу закрытых детерминированных сложных систем, и, используя подход Месаровича [5], можно отметить свойство функциональности как одну из миссий сложной системы и миссий алгоритма. В настоящее время развиваются сложные системы с переменной структурой. Однако алгоритмы имеют устойчивые связи и относятся к системам с постоянной структурой. Определение сложных систем, даваемое в работах по системному анализу Месаровичем [5], Берталанфи [6] и Уемовым [7], определяет их как системы, имеющие совокупность устойчивых связей. Это полностью соответствует представлению об алгоритмах. Вместе с тем, во многих работах алгоритм, как объективный феномен, связывают лишь с обработкой информации, тогда как в широком смысле он, безусловно, является носителем знания и средством познания. В книге Н. Моисеева [8], изданной ещё до выхода работы [3], алгоритмы рассматриваются с логическо-познавательных позиций как схема эволюции, а не как вычислительный механизм. Такая точка зрения приближает алгоритм к онтологии. Алгоритм можно рассматривать как зафиксированное знание, которое воспринимается разными людьми и может передаваться от одного человека к другому. Совокупность алгоритмов, решающих родственные задачи, даёт возможность делать научное обобщение, которое выходит за рамки технического решения задачи. Это даёт основание связывать алгоритмы с онтологиями и говорить об онтологии алгоритмов. Цель данной статьи - попытка описания онтологий алгоритмов и их систематика с онтологических позиций.

1 Материалы и методы

Материалами для написания данной работы послужили многочисленные описания алгоритмов и схем решения вычислительных и логических задач. В качестве методов использован системный анализ, категориальный анализ, логический анализ.

1.1 Топологические модели алгоритмов. Систематика алгоритмов

Обобщая различные схемы алгоритмов и применяя системно-категориальный анализ [9] можно выделить определённые группы алгоритмов по признаку сходства и разные группы по признаку различия. Построение алгоритмов связано с функциональными преобразованиями. Простейшее функциональное преобразование входной информации X в выходную информацию Y с помощью функции f имеет вид

$$(1) \quad Y = f(X),$$

или в логической форме

$$(2) \quad X \rightarrow Y.$$

По этой причине алгоритмы, которые относятся к группе, описываемой выражениями (1) и (2), называют прямыми или сквозными [10]. Кроме того, возможны линейные и нелинейные алгоритмы. Это разделение обусловлено топологической схемой алгоритма. Если схема представляет собой последовательную цепочку (ациклический граф), то такой алгоритм является линейным. Схема в выражении (2) может описывать один процесс или совокупность последовательных процессов. Это описание линейных алгоритмов [11]. Линейные алгоритмы могут иметь разную длину, но имеют один маршрут вычислений.

Если топологическая структура алгоритма представляет собой сложную сеть с циклами и ветвлениями, то такой алгоритм называют нелинейным. Нелинейные алгоритмы могут иметь много маршрутов вычислений. Это ставит дополнительную задачу оптимизации таких вычислений, или сетевую оптимизацию. На рисунке 1 приведены три простые схемы алгоритмов. Они являются линейными, поскольку обработка информации осуществляется «сверху-вниз» последовательно и линейно. Между ними существуют качественные различия.

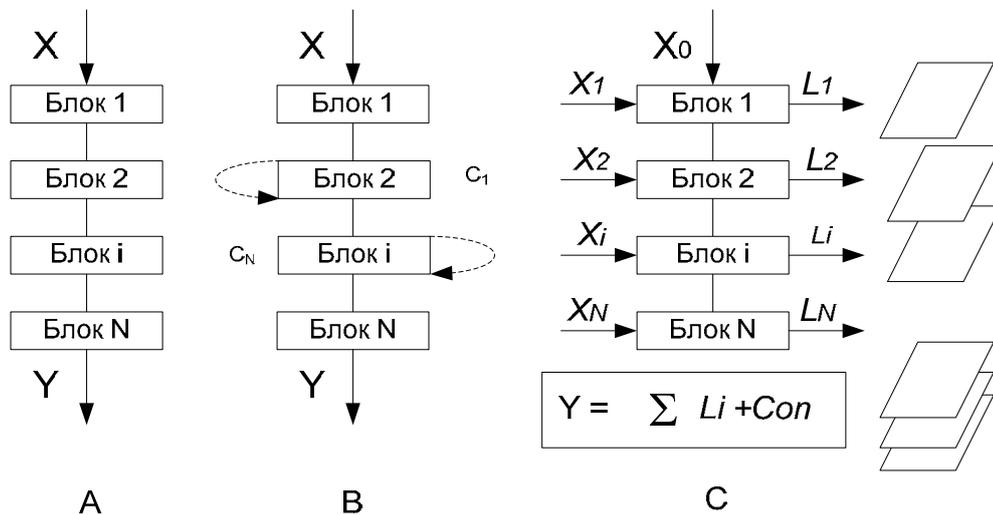


Рисунок 1 - Три схемы линейных алгоритмов
 А – сквозной (A_1); В – циклический (A_2); С – стратифицированный (A_3);

Алгоритм со схемой, представленной на рисунке 1А, называют «сквозным» или «прямым». Он используется в основном при количественной обработке информации. Часто он представляет собой совокупность параллельных веток и служит основой параллельной обработки информации [12]. Формально его описание имеет следующий вид

$$(3) \quad A_1: F(X) \rightarrow Y.$$

$$(4) \quad (\exists A_1(X) \rightarrow \{F(X) \rightarrow Y\}.$$

Выражение (3) используется в системном анализе и говорит о том, что система A_1 осуществляет F - функциональное преобразование X в Y . При этом выражение (3) описывает линейные и нелинейные преобразования и представляет собой «чёрный ящик» по отношению к пользователю. Оно описывает, в том числе, и искусственные нейронные сети и относится к схемам на рисунках 1А и 1В.

Алгоритм на рисунке 1В называют «циклическим» или «с условием». Формально его описание имеет следующий вид

$$(5) \quad A_2: F((X, n, \delta)) \rightarrow Y(n, \delta),$$

где n – число циклов, δ - погрешность.

Недостатком циклического алгоритма является возможность закливания или зависания. Эти ситуации возникают, если алгоритм составлен некорректно или если происходит компьютерный сбой. Алгоритмы на рисунках 1А и 1В имеют один вход и один выход.

Алгоритм на рисунке 1С называют «стратифицированным». Он содержит множество входов и такое же количество выходов. Его описание имеет следующий вид

$$(6) \quad A_3 = \Sigma A_i,$$

где $i = 1 \dots n$ – количество слоёв L .

Выражение (6) означает, что общий алгоритм стратифицированной обработки Al_3 представляет собой сумму частных алгоритмов, каждый из которых имеет свой вход и выход, но в совокупности они обрабатывают общий исходный массив X .

$$(7) \quad Al_i: F_i(X_i) \rightarrow L_i.$$

Выражение (7) означает, что частный алгоритм обработки Al_i преобразует входное подмножество X_i в выходное подмножество L_i , которое представляет собой слой в общей системе слоев.

$$(8) \quad Y = \Sigma L_i + Con(i, j).$$

Выражение (8) означает, что результат обработки Y представляет собой сумму результатов L_i и множество связей между ними $Con(i, j)$ [13].

Общая топологическая схема всех алгоритмов, представленных на рисунке 1, приведена на рисунке 2. Эта схема соответствует обобщённому описанию (1), (2). Простейший алгоритм имеет один блок обработки.

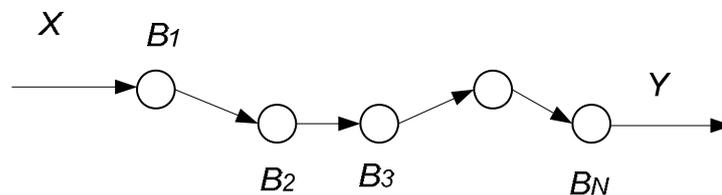


Рисунок 2 - Общая топологическая схема линейных алгоритмов
 X – входная информация; Y - результат (выходная информация);
 B_i - функциональный блок, содержащий функцию обработки f_i .

На рисунке 3 приведён пример топологической схемы нелинейного алгоритма. Схема на рисунке 3 с учётом ориентации дуг графа условно имеет два циклических контура. При рассмотрении графа как не ориентированного число циклов многократно возрастает.

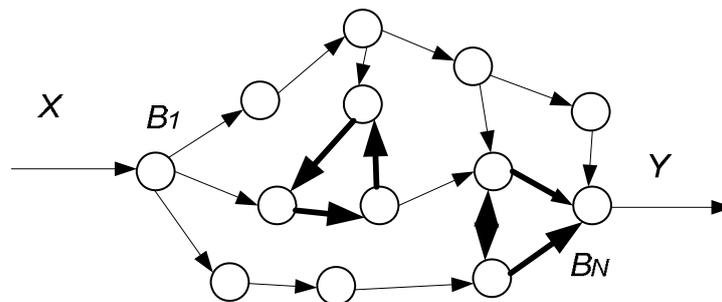


Рисунок 3 – Пример топологической схемы нелинейного алгоритма

Такая схема на практике имеет множество разновидностей. Две из них представлены на рисунке 4 – это схемы итеративного (А) и линейного инкрементного (В) алгоритмов.

Итеративный и инкрементный алгоритмы имеют сходство и различие со стратифицированным алгоритмом (рисунок 1С). При их использовании задаётся некое начальное условие X_0 базовое входное множество X_1 и совокупность входных множеств X_i . Это первое принципиальное отличие. В линейных алгоритмах входное множество одно.

Итеративный алгоритм (рисунок 4А) имеет следующее описание:

$$(9) \quad Al_4 = \Sigma Al_i,$$

где $i = 1 \dots n$ – количество итераций;

$$(10) \quad Al_i: F_i(X_i) \rightarrow Y_i + d_i.$$

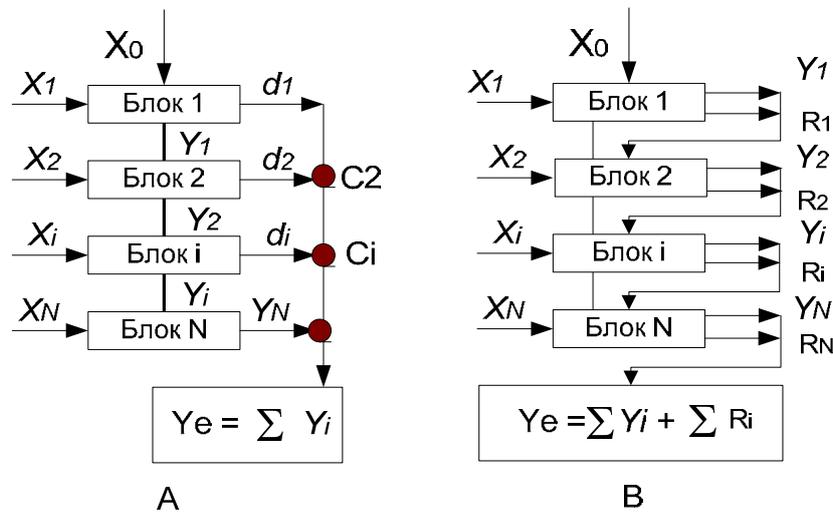


Рисунок 4 - Итеративный (А – Al_4) и инкрементный (В – Al_5) алгоритмы

Выражение (10) означает, что частный алгоритм обработки Al_i преобразует входное подмножество X_i в выходное подмножество Y_i плюс итерационную добавку d_i - аддитивную часть в общем выходном множестве Y . Результат вычислений на этапе и итерация объединяются в точках слияния C_i . Вычисления происходят по двум контурам: основному (Y_i) и вспомогательному (d_i)

$$(11) \quad Y = \sum(Y_i + d_i).$$

Для итеративных алгоритмов существует проблема сходимости [14]. Она состоит в том, что не при всяких начальных условиях X_0 результат вычислений сходится. Сходимость возможна, если $\lim_{i \rightarrow \infty}(d_i) = 0$.

Инкрементный алгоритм (рисунок 4В) имеет следующее описание

$$(12) \quad Al_5 = \sum Al_i,$$

где $i = 1 \dots n$ – количество инкрементных операций:

$$(13) \quad Al_i: F_i[X_i + R_{(i-1)}] \rightarrow Y_i + R_i.$$

Выражение (13) означает, что общий алгоритм инкрементной обработки Al_5 представляет собой сумму частных алгоритмов, как при стратифицированной (3) и итеративной (6) обработке. Результат инкрементной обработки представляет собой сумму частных решений и сумму полученных ресурсов, которые не являются решением, но служат инструментом для возможно решения и анализа других задач:

$$(14) \quad Y = \sum(Y_i + R_i).$$

Выражение (14) означает, что частный алгоритм обработки Al_i преобразует входное подмножество X_i в выходное подмножество Y_i , и создаёт дополнительный ресурс R_i , который используют на последующем этапе обработки информации. Т.е. результат инкрементной обработки Y представляет собой аддитивное множество Y плюс некий дополнительный информационный ресурс R , который можно использовать при решении других задач. Алгоритм на рисунке 4В называют линейным в силу того, что он последовательно решает задачу без возврата к предыдущим этапам. Алгоритм Al_5 является в большей степени «онтологичным» в

сравнении с другими алгоритмами, поскольку ресурс может представлять собой новое описание, новое знание и новый метод.

Существует модификация инкрементного алгоритма, которую называют «спиральной» или «циклической». Этот алгоритм приведён на рисунке 5. Модификация показывает, что каждая версия приближает результат к области решения задачи.

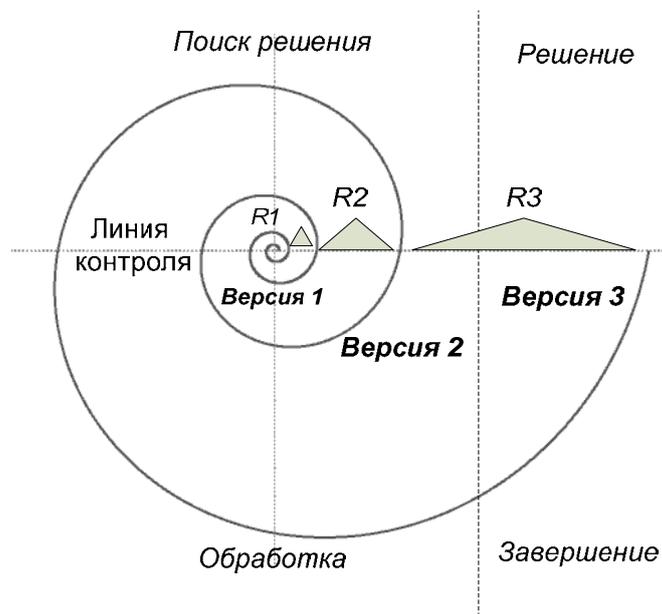


Рисунок 5 - Спиральная схема инкрементного алгоритма (Al_6)

Инкрементный спиральный алгоритм имеет описание, аналогичное (12):

$$(15) \quad Al_6 = \sum Al_i.$$

Выражение (15) означает, что общий алгоритм обработки Al представляет собой сумму частных алгоритмов, как при линейной инкрементной обработке (13). Здесь $i = 1 \dots n$ – количество инкрементных операций:

$IncA: f(A(X, n)) \rightarrow \sum S_i + \sum S_j, i=1..n, j=1..n-1, S_i$ - частные решения на каждом шаге

$$(16) \quad Al_i: F_i[X_i + R_{(i-1)} + C_{i-1}] \rightarrow Y_i + R_i + C_i.$$

Здесь: Y_i – частное решение, R_i - частный ресурс, C_i – частное новое условие на i -ом шаге; $IncA$ – обозначение инкрементной обработки.

Выражение (16) означает, что частный алгоритм обработки Al_i реализует версию преобразования входного подмножества X_i в выходное подмножество Y_i и создаёт дополнительный ресурс R_i , который используют в следующей версии обработки информации. Дополнительно на каждом витке спирали (шаге инкремента) формируется дополнительное условие решения задачи, которое расширяет направление спирали и меняет вектор решения¹. Обработка осуществляется с возвратом к исходным условиям, но с применением дополнительных ресурсов и дополнительных условий:

$$(17) \quad Y = \sum [Y_i + R_i] + \sum C_j.$$

Выражение (17) означает, что результат инкрементной обработки Y представляет собой аддитивное множество, в которое интегрирован инкрементный ресурс, накапливаемый при реализации каждой версии обработки. Алгоритм на рисунке 5 называют спиральным в силу того, что он циклически решает задачу с возвратом к предыдущим этапам, но с наращивани-

¹ Вектор решения это касательная к спирали в точке пересечения ею линии контроля.

ем ресурса решения задачи и изменением (уточнением) исходных условий. Спираль раскручивается до тех пор, пока очередная версия не попадёт в область решения. Алгоритм на рисунке 5 описывает, в том числе, и генетические алгоритмы.

1.2 Технология сортировки

Сортировка является типичным алгоритмом количественной [3] и качественной обработки информации. Его схема приведена на рисунке 6.

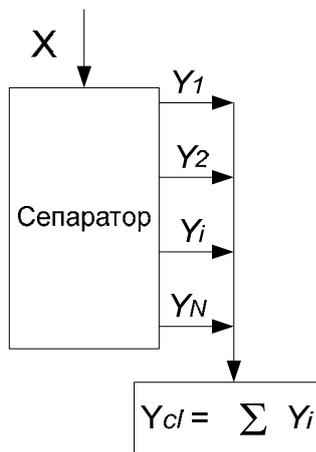


Рисунок 6 - Алгоритм сортировки

Сортировка преобразует входное гетерогенное неклассифицированное множество X в совокупность классифицированных однородных множеств Y_i . Алгоритм сортировки достаточно прост и имеет следующее описание. Объект A принадлежит классу $ClassI$ (класс i), если содержат те же элементы, что и в классе $ClassI$.

$$(18) \quad \forall x\{x \in A \ \& \ x \in ClassI\} \rightarrow A \subset ClassI,$$

где \forall – квантор общности, \rightarrow - знак «следует». Приведённая запись читается так: «Множество A принадлежит классу $ClassI$, если для каждого элемента множества x , принадлежащего множеству A , следует принадлежность этого же элемента x множеству $ClassI$ ». Особенность выражения (18) в том, что оно позволяет осуществлять качественный анализ и качественную обработку. Выражение (18) позволяет соотносить объект A с определённым классом и относить объект к классу и по свойствам его элементов. Алгоритм, который

описывает выражение (18), является качественным.

2 Обсуждение

Проведённый анализ позволяет говорить об общем онтологическом описании качественных и количественных алгоритмов. Если работа [3, 4] рассматривает технологическую вычислительную сторону алгоритма, то работа [8] трактует алгоритм как метод исследования и анализа эволюции. В работе [15] алгоритм применяется как инструмент анализа топологии и сложности, что также далеко от чистых вычислений и приближает это понятие к познавательному образу. Замечательным представляются исследования [15] комплексного представления проблем обработки предметно-ориентированных знаний (в научно-технической сфере), построения и проектирования «знание-ориентированных информационных систем с онтолого-управляемой архитектурой» [16] как нового класса средств вычислительной техники. Авторы прямо не употребляют термин «алгоритм», но в работе они рассматривают информационную технологию компьютерной обработки (алгоритм), технологию автоматизированной обработки предметно-ориентированных знаний (алгоритм), т.е. сущность работы в «онтологически – алгоритмических методах». Существует направление качественных алгоритмов [17], применяемых в качественном анализе [18]. Всё это говорит о многообразии понятия алгоритм и некорректности его сведения только к вычислительным процессам.

Можно говорить об алгоритмических моделях, о том, что алгоритмические модели *могут относиться*, а онтологические модели *всегда* относятся [19] к классу познавательных моделей. Это проявляется в связанном с ними и объединяющем их когнитивном моделировании [20, 21].

Заключение

Некоторые виды схем алгоритмов несут ярко выраженные познавательные функции. Стратифицированные алгоритмы и спиральные (инкрементные) алгоритмы схематизируют познавательные процессы, которые лежат за рамками количественных вычислений. Современное развитие методов вычислений и алгоритмов требует обобщения этого направления. Развитие онтологического инжиниринга связано не только с совершенствованием методов компьютерной обработки информации, но и с развитием онтологического подхода к алгоритмам как к инструментам познания. Отсюда следует актуальность и важность разработки новых научных методов онтологии алгоритмов. Перспективным следует считать развитие методов когнитивного моделирования алгоритмов в двух направлениях: анализ процессов человеческого мышления при построении алгоритмов и алгоритмизации; анализ познавательного значения алгоритмов как инструмента извлечения новых знаний и технологий.

Список источников

- [1] **Боргест, Н.М.** Научный базис онтологии проектирования / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. – 2013. – №1(7). – С. 26-34.
- [2] **Смирнов, С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2012. – №2(4). – С.16–25.
- [3] **Cormen, T.H.** Introduction to Algorithms / T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest. - MIT Press and McGraw-Hill, 1990. — 863 p.
- [4] **Кормен, Т.Х.** Алгоритмы. Построение и анализ, 2-е издание / Т.Х. Кормен, Ч.И. Лейзерсон, Р.Л. Ривест, К. Штайн. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1296 с.
- [5] **Месарович, М.** Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Н. Такахара. - М.: Мир, 1978. - 311 с.
- [6] **Берталанфи фон Л.** Общая теория систем – критический обзор / Л. Берталанфи фон // Исследования по общей теории систем. - М.: Прогресс, 1969. - С. 23-82.
- [7] **Уемов, А.И.** Системный подход и общая теория систем. - М. Мысль, 1978. – 272 с.
- [8] **Моисеев, Н.Н.** Алгоритмы развития. - М.: Наука, 1987. – 304 с. (Переиздана в 2017 г. издательством Litres.)
- [9] **Буравцев, А.В.** Системно категориальный анализ/ А.В. Буравцев, В.Я. Цветков // Сборник трудов VIII международной конференции ИТ-Стандарт 2017. - М.: Издательство «Перспект», 2017. – С. 250-255.
- [10] **Платунов, А.Е.** Архитектурные абстракции в технологии сквозного проектирования встроенных вычислительных систем / А.Е. Платунов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2002. – №6. - С. 76-82.
- [11] **Цветков, В.Я.** Алгоритм линейной семантической интерпретации / В.Я. Цветков, Е.Е. Чехарин // Славянский форум. - 2017. - №1(15). – С. 134-140.
- [12] **Кулагин, В.П.** Проблемы параллельных вычислений / В.П. Кулагин // Перспективы науки и образования. - 2016. - №1. - С. 7-11.
- [13] **Цветков, В.Я.** Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. - М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
- [14] **Цветков, В.Я.** Сходимость линейных пространственных задач / В.Я. Цветков // Информационные технологии. - 2017. - Т. 23. - №9.- С. 681-686.
- [15] **Нечепуренко, М.И.** Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / М.И. Нечепуренко, В.К. Попков, С.М. Майнагашев. – Наука, Сиб. отд-ние, 1990. – 515 с.
- [16] **Палагин, О.В.** Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / О.В. Палагин, М.Г. Петренко, С.Л. Кривий. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
- [17] **Цветков, В.Я.** Алгоритм качественной обработки информации при оценке предпочтительности / В.Я. Цветков // Славянский форум. - 2016. - 4(14). – С. 268-274.
- [18] **Цветков, В.Я.** Качественные пространственные рассуждения / В.Я. Цветков. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 60 с.
- [19] **Микони, С.В.** О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №3(25). - С. 347-360. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [20] **Кудж, С.А.** Когнитивные модели и моделирование / С.А. Кудж. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 112 с.

- [21] **Номоконова, О.Ю.** Когнитивное и социальное моделирование в медицинской диагностике / О.Ю. Номоконова // Славянский форум. - 2017. - 3(17). – С. 69-75.

APPROACH TO SYSTEMATIZATION OF ALGORITHMS

V.Ya. Tsvetkov¹, V.A. Mordvinov²

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

² *Institute of Information Technologies of Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia*
caf.iis@yandex.ru

Abstract

The paper offers a method of investigating algorithms from an ontological perspective. It explores various approaches to creating and defining algorithms. A point of view has been singled out, according to which the algorithm is not only a scheme for calculating, but an instrument for knowledge and knowledge transfer. The connection between algorithms and ontologies is grounded. The article provides systematic and categorical classification of algorithms. The article proposes the basis of generalization for two groups of algorithms: linear and nonlinear. These groups contain typical sub-groups: direct algorithms, cyclic algorithms, stratified algorithms, iterative algorithms, incremental algorithms. Incremental algorithms are represented by two schemes: a sequential circuit and a spiral scheme. The article explores the sorting algorithm. The paper uses a topological and formal description of algorithms. This makes it possible to generalize and isolate the cognitive meaning of algorithms. The article notes the existence of algorithms for quantitative processing and qualitative analysis. The method of generalization equally applies to these types of algorithms. Paper recommends further study of algorithms as an instrument of knowledge and knowledge transfer.

Keywords: *algorithms, ontologies, knowledge, generalization, topological models, formal models, incremental models, ontological engineering.*

Citation: *Tsvetkov VYa, Mordvinov VA. Approach to systematization of algorithms [in Russian]. Ontology of designing. 2017; 7(4): 388-397. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-388-397.*

References

- [1] **Borgest NM.** Scientific basis for the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2013. – №. 1 (7). – P.26-34
- [2] **Smirnov SV.** Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2012. – №. 2 (4). – P.16 - 25.
- [3] **Cormen T, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.** Introduction to Algorithms. — 1st.— MIT Press and McGraw-Hill, 1990.— 863p. ISBN 0-262-03141-8.
- [4] **Kormen T., et c.** Algorithms. Construction and analysis [In Russian]. – Williams Publishing House [Izdatel'skij dom Vil'jams], 2009. – 1296 p.
- [5] **Mesarovic M., Takahara N.** General theory of systems: mathematical foundations. - Moscow: Mir, 1978. - 311 p.
- [6] **Bertalanfifon L.** The general theory of systems is a critical review. In the book. Studies on the general theory of systems. Moscow: Progress, 1969. P.23 -82.
- [7] **Uemov AI.** The system approach and the general theory of systems [In Russian]. - M. Thought, 1978. - 272 p.
- [8] **Moiseev N.** Development Algorithms [In Russian]. - M.: Nauka, 1987. – 304 p.
- [9] **Buravcev AV., Tsvetkov VYa.** Systematically categorical analysis [In Russian]/ Proceedings of the VIII International Conference IT-Standard 2017 [Sbornik trudov VIII mezhdunarodnoj konferencii IT-Standart 2017]. - M.: Izdatel'stvo «Prospekt», 2017. – P.250-255.
- [10] **Platunov AE.** Architectural abstractions in end-to-end design of embedded computing systems [In Russian]. Scientific and technical herald of information technologies, mechanics and optics [Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki]. – 2002. – №. 6.-P.76-82.

- [11] *Tsvetkov VYa., Cheharin EE.* Algorithm of linear semantic interpretation [In Russian]. Slavic Forum [Slavjanskij forum]. - 2017. -1(15). – P.134-140.
- [12] *Kulagin VP.* Problems of parallel computations [In Russian].Prospects of science and education [Perspektivy nauki i obrazovanija]. - 2016. - №1. - P.7-11.
- [13] *Tsvetkov VYa.* Geoinformation systems and technologies [In Russian]. - M.: Finansy i statistika, 1998. -288 p.
- [14] *Tsvetkov VYa.* Convergence of linear spatial problems [In Russian]. Information Technology [Informacionnye tehnologii]. - 2017. - Т. 23. - № 9. - P.681-686.
- [15] *Nechepurenko MI., Popkov VK., Majnagashev SM.* Algorithms and programs for solving problems on graphs and networks [In Russian]. – Nauka, Sib. otd-nie, 1990.
- [16] *Palagin OV., Petrenko MG., Krivij SL.* Ontological methods and means of processing subject knowledge.– Lu-gansk: izd-vo VNU im. V. Dalja, 2012. – 324 p.
- [17] *Tsvetkov VYa.* Qualitative information processing algorithm in the evaluation of preference [In Russian].Slavic Forum [Slavjanskij forum]. 2016. - 4(14). – P.268-274.
- [18] *Tsvetkov VYa.* Qualitative spatial reasoning: Monograph [In Russian]. – M.: MAKS Press, 2017. – 60 p.
- [19] *Mikoni SV.* On the quality of ontological models [In Russian].*Ontology of Designing.* 2017; 7(3): 347-360. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [20] *Kudzh SA.* Cognitive models and modeling: Monograph [In Russian]. – M.: MAKS Press, 2017. – 112 p. ISBN 978-5-317-05548-6.
- [21] *Nomokonova OJu.* Cognitive and social modeling in medical diagnostics [In Russian].Slavic Forum [Slavjanskij forum]. - 2017. -3(17). – P.69-75.

Сведения об авторах



Цветков Виктор Яковлевич, 1945 г. рождения. Окончил Иркутский государственный университет 1967 г. (д.т.н., 1995). Заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития НИИАС. Действительный член международной академии наук Евразии, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, действительный член Российской академии образования. Лауреат Премии президента РФ в области образования (2003), лауреат Премии правительства РФ (2014), почётный работник науки и техники РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, автор более 1100 печатных работ, в том числе 82 монографий, 64 учебных пособий, 66 дипломов и патентов.

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



Мордвинов Владимир Александрович, 1946 г. рождения (к.т.н., профессор). Окончил Московский государственный технический университет (МИРЭА) в 1969 г. лауреат Премии Правительства РФ в области образования. Заведующий кафедрой инструментального и прикладного программного обеспечения Института информационных технологий Московского технологического университета (МИРЭА).

Mordvinov Vladimir Alexandrovich (b. 1946). (Ph.D., professor). He graduated from the Moscow State Technical University (MIREA) in 1969, laureate of the Government Prize of the Russian Federation in the field of education. Head of the Department of Instrumental and Applied Software of the Institute of Information Technologies of Moscow Technological University (MIREA).

УДК 004.827

ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.М. Ковалев¹, А.Е. Колоденкова²

¹ Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия
ksm@rfnias.ru

² Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
anna82_42@mail.ru

Аннотация

Процесс проектирования сложных технических систем (СТС) является итеративным процессом, который характеризуется значительными затратами ресурсов (финансовых, трудовых, временных), оформлением большого объёма документации, а также множеством возникающих рискованных ситуаций. Для надёжного создания СТС необходима интеллектуальная система контроля и предупреждения рискованных ситуаций, которая позволит быстро обработать и проанализировать большие объёмы разнородной информации, выявить рискованные ситуации на этапе проектирования, а также ответить на вопрос типа «Что будет с проектом создаваемой СТС, если на этапе проектирования произойдут какие-либо изменения...?». Статья посвящена построению базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций в условиях разнородной информации для этапа проектирования СТС критической инфраструктуры. Проведён анализ основных типов моделей представления знаний, применяемых при создании баз знаний. Предложена база знаний, основанная на модульном принципе и использующая обобщённую схему методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования. Новыми результатами являются: разработанный модуль обработки исходных данных, позволяющий обрабатывать разнородные данные; представление знаний в базе знаний в виде чётких или нечётких моделей; сценарии развития рискованных ситуаций, связанных с проектированием СТС.

Ключевые слова: база знаний; модульный подход; чёткие и нечёткие когнитивные модели; сложная техническая система.

Цитирование: Ковалев, С.М. Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций для этапа проектирования сложных технических систем / С.М. Ковалев, А.Е. Колоденкова // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 398-409. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.

Введение

Развитие сложных технических систем (СТС) критической инфраструктуры, эффективность и работоспособность которых зависит от качества, надёжности многих сотен и тысяч взаимосвязанных элементов (конструктивных, технических, управляющих) требует особого внимания к этапу проектирования СТС. Этот этап характеризуется широким спектром неопределённостей, часто изменяющимися требованиями заказчика, возникающими рискованными ситуациями, существенными затратами ресурсов (финансовыми, временными, трудовыми и др.), а также большим объёмом разнообразной документации [1-3]. К рискованным ситуациям можно отнести:

- разработку новых требований к СТС;

- срыв сроков разработки конструкторской, технологической, программной документации;
- задержка согласования технической документации заинтересованными организациями;
- срыв сроков поставки комплектующих, материалов и полуфабрикатов;
- срыв поставки СТС заказчику;
- нарушение сроков сдачи готовой СТС;
- экономические потери и др.

Это приводит к значительному увеличению трудоёмкости рутинных процедур, которые в ходе проектирования СТС выполнялись и продолжают выполняться «вручную» и сравнительно редко изучались в системной инженерии. Даже незначительные ошибки, допущенные на данном этапе, могут привести к ситуации, когда принятые решения по проектированию могут в дальнейшем привести к критическому несоответствию СТС заявленным целям и требованиям заказчика.

В связи с этим, на этапе проектирования СТС необходима интеллектуальная система контроля и предупреждения рискованных ситуаций (СКПРС), основанная на знаниях, которая позволит быстро обрабатывать и анализировать большие объёмы разнородной информации; проводить оценку текущей ситуации, а также отвечать на вопросы типа: «Что будет с проектом создаваемой СТС, если на этапе проектирования произойдут какие-либо изменения...?».

1 Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций

База знаний (БЗ) является одним из важнейших компонентов интеллектуальной СКПРС, которая создаётся на основе знаний высококвалифицированных специалистов. При построении БЗ важным является выбор способа представления знаний. Основные типы моделей представления знаний, которые часто применяются к процессу построения БЗ представлены ниже [4, 5]:

1) *продукционные модели* – модель, основанная на правилах, позволяющая представить знание в виде предложений типа: «Если условие, то действие». Продукционная модель обладает тем недостатком, что при накоплении достаточно большого числа продукций они начинают противоречить друг другу;

2) *семантические сети* – ориентированный граф, в котором понятия и объекты изображаются как вершины, а отношения между объектами – дуги. Одним из недостатков является то, что однозначного определения семантической сети в настоящее время не существует;

3) *фреймовая модель* – модель, в основе которой лежат фреймы. Фрейм состоит из конечного числа слотов, каждый из которых имеет имя и значение.

4) *онтологическая модель* – понятийная конструкция, базирующаяся на определённых глобальных категориях (пространстве, времени и качестве).

5) *модель в исчислении высказываний* – самая простая формальная модель представления знаний. Её применение невозможно для описания сложных систем знаний, однако она позволяет понять основной механизм вывода в системах искусственного интеллекта.

В работе [6] рассматривается построение БЗ для распределённых информационно-управляющих систем. В работе [7] предложен подход к построению нечёткой БЗ, положенный в основу построения систем нечёткого вывода для оперативного управления пожарной безопасностью взрыво- и пожароопасных производств. В работе [8] рассматривается построение БЗ интеллектуальной системы управления безопасностью сложных транспортных комплексов. В работе [9] предлагается архитектурная, многоуровневая модель БЗ для хранения информации в предметно-ориентированной интеллектуальной системе. В данных работах не

рассматривается случай, когда знания одновременно могут быть представлены в виде разнородных данных (вербальных описаний, интервалов, нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел). Это может привести к неверной оценке рисков, а также к ошибочной оценке осуществимости проекта по созданию СТС на этапе проектирования.

В предлагаемой авторами БЗ модели знания представлены в виде чётких когнитивных моделей (ЧКМ) и нечётких когнитивных моделей (НКМ), а также сценариев развития рискованных ситуаций, возникающих при проектировании СТС.

2 Структура базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций

На рисунке 1 представлена структура БЗ интеллектуальной СКПРС, основанной на модульном принципе, использующей обобщённую схему методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования.

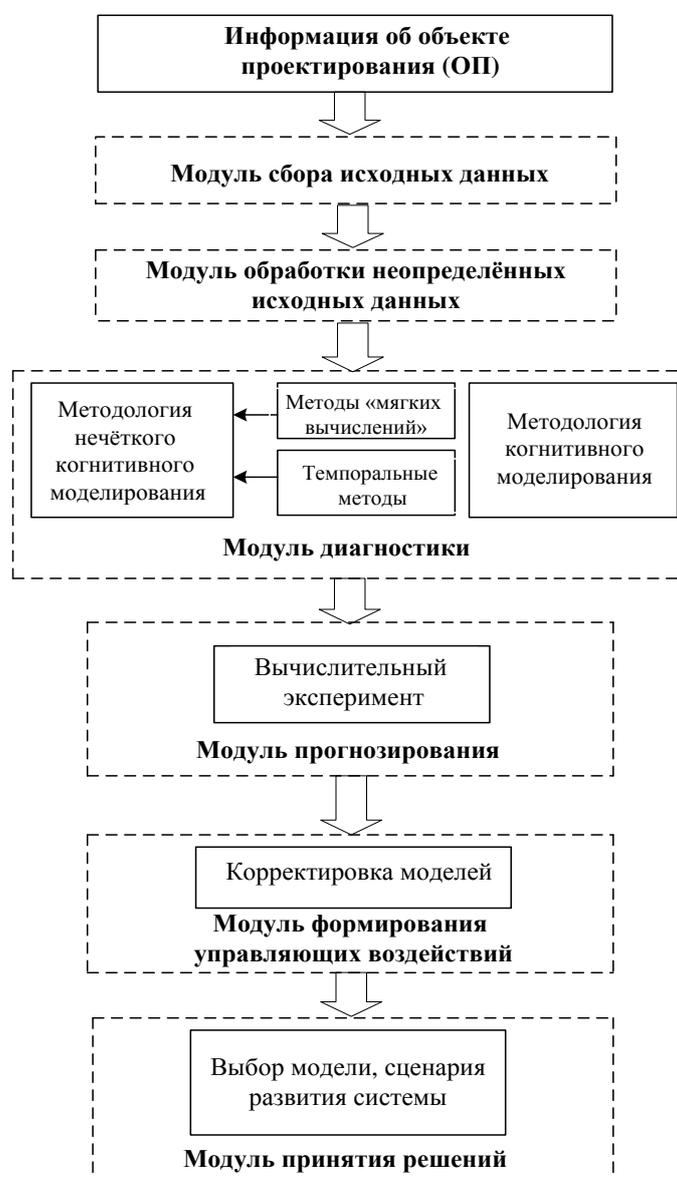


Рисунок 1 – Структура базы знаний интеллектуальной СКПРС

Предлагаемая БЗ интеллектуальной СКПРС содержит 6 модулей.

Модуль сбора исходных данных позволяет собирать исходные данные о создании СТС на протяжении всего этапа проектирования. Под *исходными данными* понимаются факторы, необходимые для контроля и предупреждения рисков ситуаций, связи между факторами, а также их значения. Значения факторов могут быть представлены в виде:

- чисел, которые отличаются единицами измерения и порядком величин;
- интервалов (произвольные данные, которые связаны с определёнными датами или промежутками времени (темпоральные данные)) [10];
- нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел;
- вербальных описаний.

Значения связей между факторами могут быть представлены в виде: интервалов; нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел; вербальных описаний.

Обычно множество факторов, связей между ними, а также их значения определяются на основе предыдущего опыта, по результатам опроса исполнителей, анализа нормативной документации или контракта. Необходимость привлечения экспертных знаний нередко обусловлена отсутствием каких-либо других способов получения информации.

Модуль обработки исходных данных позволяет обрабатывать исходные данные с тем, чтобы можно было применить чёткое либо нечёткое когнитивное моделирование.

Под *обработкой неопределённых исходных данных* понимается структуризация и нормирование значений факторов, а также связей между ними, представленных в виде чисел (отличаются единицами измерения и порядком величин), вербальных описаний, интервалов, нечётких треугольных и трапециевидных чисел, позволяющая применить методологию нечёткого когнитивного моделирования. Алгоритм обработки неопределённых исходных данных описан в работе [11].

Модуль диагностики позволяет строить ЧКМ, НКМ выявления и предупреждения рисков ситуаций при проектировании СТС с применением методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования.

Для применения темпоральных методов, методов «мягких вычислений» используются исходные данные, в качестве которых выступают показатели, характеризующие рисков ситуации, заданные в виде интервалов, нечётких треугольных и трапециевидных чисел. Результатом использования данных методов является рассчитанная интервальная оценка, характеризующая приемлемую альтернативу проекта создания СТС на этапе проектирования, которая проходит этап обработки и предназначена для применения в процедурах поддержки принятия решений.

Под *ЧКМ* понимается когнитивная карта (знаковый ориентированный граф) [12]:

$$G = \langle V, E \rangle,$$

где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $i = 1, \dots, h$, h – количество вершин;

E – бинарное отношение на V (связи между вершинами v_i и v_j). Элементы e_{ij} , $e_{ij} \in E$ ($i, j = 1, \dots, h$) характеризуют направление и силу влияния между вершинами v_i и v_j , $e_{ij} = e(v_i, v_j)$. Элемент e_{ij} может принимать значения «1», «-1» либо «0»:

- значение «1» означает положительную связь между вершинами v_i и v_j , т.е. увеличение (уменьшение) влияния вершины v_i вызывает увеличение (уменьшение) в вершине v_j ;
- значение «-1» означает отрицательную связь между v_i и v_j , т.е. увеличение (уменьшение) влияния вершины v_i вызывает уменьшение (увеличение) в вершине v_j ;
- значение «0» означает, что влияние v_i на v_j отсутствует.

Под *НКМ* понимается нечёткая когнитивная карта, в которой вершины представляют факторы, а рёбра – нечёткие причинно-следственные связи между факторами [13]:

$$G_{\text{неч}} = \langle V, W \rangle,$$

где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $v_i \in V$, $i = \overline{1, h}$, h – количество вершин; $X = \{x_{v_i}\}$ – множество параметров вершин (каждой вершине ставится один параметр); W – нечёткие причинно-следственные связи между вершинами. Элементы w_{ij} , $w_{ij} \in W$ характеризуют направление и силу влияния между вершинами v_i и v_j и обладают следующими свойствами [14]:

- 1) w_{ij} принимает значения из интервала $w_{ij} \in [-1, 1]$, т.е. $-1 \leq w_{ij} \leq 1$;
- 2) $w_{ij} = 0$, если влияние v_i на v_j отсутствует;
- 3) $0 < w_{ij} \leq 1$ при положительном влиянии v_i на v_j , т.е. увеличение значения вершины v_i приводит к увеличению значения вершины v_j ;
- 4) $-1 \leq w_{ij} < 0$ при отрицательном влиянии v_i на v_j , т.е. увеличение значения вершины v_i приводит к уменьшению значения вершины v_j .

Заметим, что на данном этапе может быть построена не одна чёткая и/или нечёткая когнитивная модель, а набор ЧКМ (G) и/или НКМ ($G_{\text{неч}}$). Построенная модель (ЧКМ, НКМ) отражает субъективные представления исполнителей проекта об исследуемой проблеме, связанной с рисковыми ситуациями при проектировании СТС.

Существует два подхода к построению ЧКМ и НКМ.

«Сверху». На начальном этапе строится общая ЧКМ либо НКМ, которая в дальнейшем достраивается с помощью отдельных блоков когнитивной модели (рисунок 2). Здесь Бл1 КМ, Бл2 КМ, ..., Бл l КМ – отдельные блоки ЧКМ и/или НКМ ($r = 1, \dots, l$), которые достраиваются до общей ЧКМ либо НКМ; $vo1, vo2, \dots, voh$ – вершины общей ЧКМ либо НКМ.

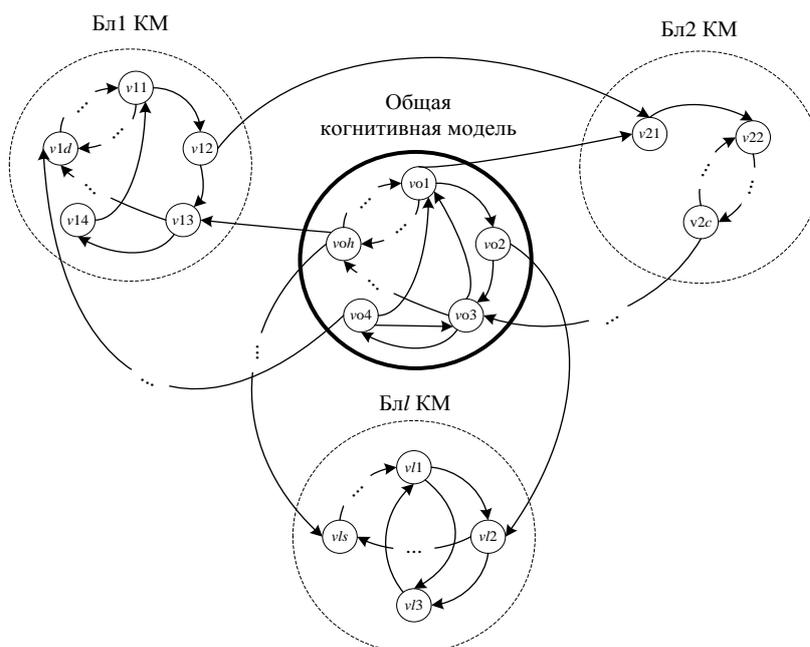


Рисунок 2 – Подход «сверху» к построению когнитивных моделей

«Снизу». На начальном этапе сначала строятся отдельные блоки когнитивной модели, а затем происходит их объединение в общую когнитивную модель (рисунок 3). Данный модуль позволяет структурировать знания исполнителей (теоретические представления, исходные данные) и преобразовывать их в модель знаний – ЧКМ, НКМ.

Модуль прогнозирования позволяет проводить чёткий и нечёткий когнитивный анализ, импульсное моделирование, предвидение тенденций развития системы, а также прогнозирование количественных значений параметров по ЧКМ либо НКМ. Для ЧКМ проводится ана-

лиз циклов модели, поиск собственных чисел, анализ устойчивости процесса, анализ структурной устойчивости к возмущающим и управляющим воздействиям, а также топологический анализ структуры модели [15]. Для НКМ проводится топологический анализ, расчёт системных показателей НКМ, а также обучение НКМ [16-18].

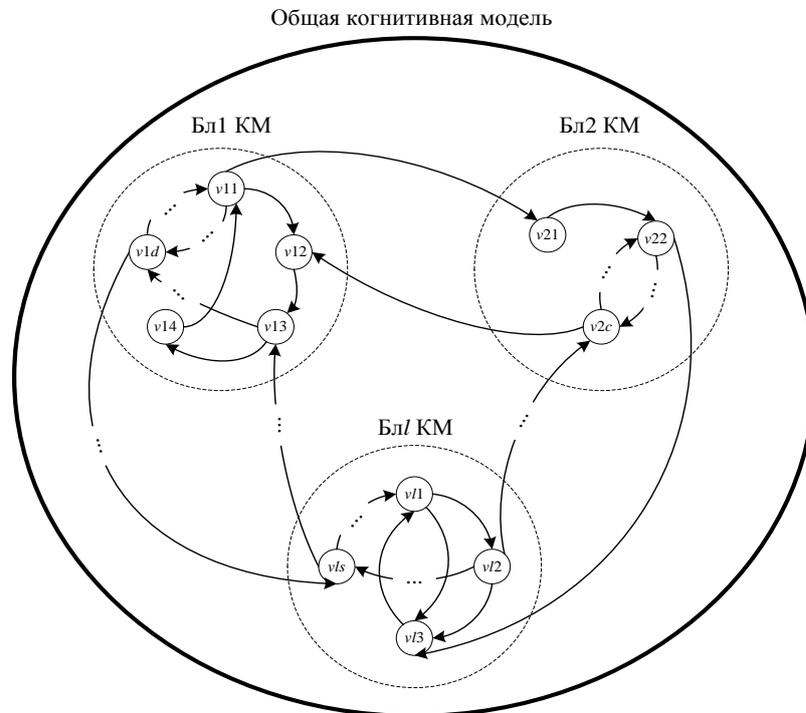


Рисунок 3 – Подход «снизу» к построению когнитивных моделей

В случае проведения импульсного моделирования на ЧКМ, НКМ, сценарного анализа могут быть построены различные сценарии прогноза развития ситуаций, связанные с возникновением рискованных ситуаций при проектировании СТС. Сценарии, порождаемые возмущениями, дают ответ на вопрос: «А что будет с создаваемой СТС на этапе проектирования в момент $t(n+1)$, если произойдут какие-либо изменения ...?».

Для проведения импульсного моделирования на моделях, необходимо исследовать зависимости изменения параметров вершин x_{v_i} от времени $x_{v_i}(t)$, $t = 1, 2, 3, \dots$. Процесс распространения возмущения по графу описан в работе [15].

$$x_{v_i}(n+1) = x_{v_i}(n) + \sum_{v_j: e=e_{ij}}^{h-1} f(x_{v_i}, x_{v_j}, e_{ij})P_j(n) + Q_i(n),$$

где $x_{v_i}(n+1)$, $x_{v_i}(n)$ – значение параметра вершины v_i в момент $t = n$ и $t = n + 1$; n – такты моделирования; $P_j(n)$ – изменение в вершине v_j в момент времени $t(n)$; $Q_i(n)$ – вектор внешних импульсов q_i , вносимых в вершины v_i в момент времени $t(n)$; f – коэффициент связи между вершинами v_i и v_j .

Проведение вычислительного эксперимента путём импульсного моделирования требует предварительного его планирования. Под *планированием* понимается выбор вершин, в которые должны вноситься возмущающие воздействия.

Модуль формирования управляющих воздействий осуществляет корректировку моделей ЧКМ либо НКМ. Под *корректировкой модели* понимается изменение структуры модели (добавление либо удаление каких-либо факторов и связей между ними), а также изменение значений факторов и связей. Исполнителям предлагается сделать выбор: принять решение о

Здесь v_1 – количество задач; v_2 – производительность исполнителей (скорость выполнения работ); v_3 – количество оценок осуществимости проекта по проектированию СТС (оценки могут быть получены с применением различных подходов и методов); v_4 – завершение проекта по созданию СТС (неудачное завершение проекта, т.е. отставание от графика работ либо провал проекта); v_5 – экономичность (выполнение работ с наименьшими затратами); v_6 – надёжность СТС (система находится в работоспособном состоянии в течение определенного отрезка времени), v_7 – безопасность и защита СТС (свойство системы исправно функционировать без проявления различных негативных последствий для людей и внешней среды); v_8 – внешние факторы (пожар, энергоснабжение); v_9 – количество ошибок исполнителей; v_{10} – время, затраченное на создание СТС; v_{11} – финансовые ресурсы, затрачиваемые на создание СТС; v_{12} – количество исполнителей; v_{13} – квалификация исполнителей; v_{14} – нарушение нормальной эксплуатации; v_{15} – аварийная ситуация.

Интерпретировать связи, представленные на рисунке 4, можно следующим образом: например, связь $v_3 \rightarrow v_6$ с весом 0,9 означает, что если значение параметра вершины v_3 возрастёт (уменьшится) на 10 %, то значение параметра вершины v_6 возрастёт (уменьшится) (знак «+») на 9%; связь $v_{10} \rightarrow v_9$ с весом $-0,7$ означает, что если значение параметра вершины v_{10} уменьшится на 10 %, то значение параметра вершины v_9 возрастёт (знак «-») на 7%.

Для выработки обоснованных управленческих решений проводится анализ структурной устойчивости модели в виде НКМ [22]. В данной работе под структурной устойчивостью предлагается понимать степень живучести нечёткого графа.

Проведённый анализ структурной устойчивости НКМ показал, что степень структурной устойчивости исследуемой модели находится на уровне 0,53, что классифицирует модель как устойчивую.

На рисунке 5 приведены фрагменты импульсного моделирования сценариев развития ситуаций на НКМ. На графиках по оси абсцисс отмечены итерации n , по оси ординат – изменение значений параметров вершин Δ , %. Для лучшего восприятия изображения графики импульсных процессов содержат по четыре вершины. При этом отметим, что на графиках представлено такое количество итераций, которое отражает тенденции изменений. Дальнейший вычислительный эксперимент показал, что на последующих итерациях тенденции нарастания или убывания не меняются.

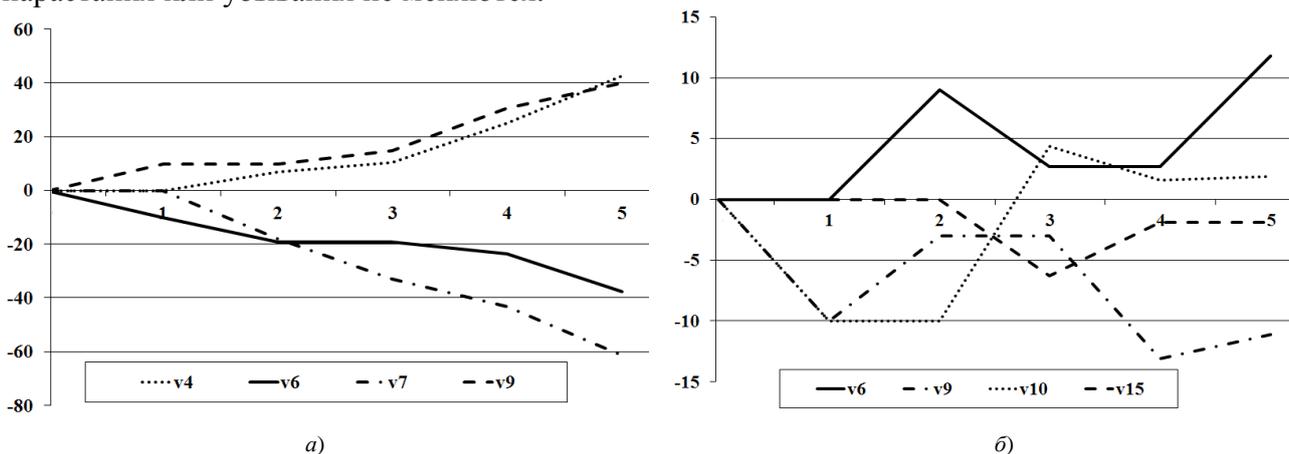


Рисунок 5 – Результаты импульсного моделирования развития ситуаций на НКМ

Сценарий № 1. Импульс поступает в две вершины. Зададимся вопросом: «Что будет с СТС на этапе проектирования, если увеличить $v_9 = 10\%$, уменьшить $v_6 = -10\%$ (рисунок 5а).

Рекомендации: если увеличить количество ошибок исполнителей и уменьшить надёжность СТС на (-10%) , то наблюдается резкое увеличение неудачного завершения проекта и

уменьшение безопасности СТС. Однако при небольшом увеличении надёжности наблюдается небольшое уменьшение неудачного завершения проекта.

Сценарий № 2. Импульс поступает в две вершины. Зададимся вопросом: «Что будет с СТС на этапе проектирования, если уменьшить $v_9 = -10\%$ и $v_{10} = -10\%$ (рисунок 5б).

Рекомендации: если уменьшить количество ошибок исполнителей и время создания СТС на 10%, то наблюдается небольшое уменьшение надёжности СТС и аварийных ситуаций. Однако при небольшом увеличении времени на создание СТС, наблюдается резкое увеличение надёжности СТС, при которой возникновение аварийных ситуаций мало.

Для получения информации о неявных взаимных влияниях между факторами НКМ был проведён анализ структуры НКМ [11], который показал:

1) уровень доверия к полученному значению итогового влияния вершины « v_1 – количество задач» на v_6, v_7, v_9, v_{15} низкий, на что и указывает малое значение консонанса (0,01). Это означает, что вершину v_1 можно исключить из НКМ, поскольку она не сильно влияет на структуру модели.

2) наибольшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины v_2 (0,19), v_3 (0,10), при этом они практически не испытывают обратного сильного влияния. Чуть меньшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины v_3 (0,08), v_{13} (0,08). Влияя на вышеперечисленные вершины, можно «повернуть» всю систему в положительную сторону.

3) наибольшему влиянию со стороны НКМ подвержены вершины v_{11} (0,2), v_3 (0,13), v_{10} (0,13), v_6 (0,08). Высока вероятность того, что влияние НКМ на эти вершины способно погасить любые рискованные ситуации, а также любое отрицательное воздействие извне.

Заключение

Предлагаемая БЗ позволяет выявлять и предупреждать рискованные ситуации при проектировании СТС в условиях разнородной информации, на основе заложенных в ней ЧКМ и НКМ, а также сценариев развития рискованных ситуаций, полученных с помощью проведения импульсного моделирования. Полученная информация является основой для выработки научно-обоснованных управленческих действий, направленных на выявление и предотвращение возможных рискованных ситуаций на этапе проектирования СТС.

Представленный прототип БЗ интеллектуальной СКПРС может быть адаптирован к различным объектам критической инфраструктуры (энергетика, транспорт, атомная энергетика, производственные предприятия (оборонная, ракетно-космическая, горнодобывающая, металлургическая и химическая промышленность и т.п.)) за счёт обработки неопределённых исходных данных (способа нормирования и структуризации), построения новых когнитивных моделей, которые характеризуют индивидуальность объектов, сценариев развития рискованных ситуаций.

Благодарности

Исследования проводились в рамках работ, поддержанными грантами РФФИ 16-07-00032-а, 16-07-00086-а, 17-08-00402-а.

Список источников

- [1] ГОСТ Р 15.000-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. - Москва: Стандартинформ, 2016. - 15 с.

- [2] **Юрков, Н.К.** Системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем / Н.К. Юрков // Надежность и качество сложных систем: Научно-практический журнал. - 2013. - № 1. - С. 27-35.
- [3] **Липаев, В.В.** Проблемы программной инженерии: качество, безопасность, риски, экономика / В.В. Липаев // Программная инженерия. - 2010. - № 1. - С. 7-20.
- [4] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
- [5] **Люгер, Д.** Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Люгер. - М.: Вильямс, 2003. - 864 с.
- [6] **Горелова, Г.В.** Проектирование интеллектуальных распределенных информационно-управляющих систем / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник, Я.С. Коровин // Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники: Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы: тр. Междунар. науч.-техн. мультikonф. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. - Т. 2. - С. 28-31.
- [7] **Тушиков, Д.В.** Подход к построению нечёткой базы знаний для определения пожароопасных ситуаций / Д.В. Тушиков, А.Ф. Резчиков // Математические методы в технике и технологиях. - 2014. - № 3 (62). - С. 125-127.
- [8] **Искандеров, Ю.М.** База знаний интеллектуальной системы управления безопасностью сложных транспортных комплексов / Ю.М. Искандеров, С.П. Крейтер // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы». - М.: МИИТ, 2007. - С. 99.
- [9] **Нечаев, В.В.** Архитектура предметно-ориентированной базы знаний интеллектуальной системы / В.В. Нечаев, М.И. Кошкарев // Образовательные ресурсы и технологии. - 2015. - № 1. - С. 156-163.
- [10] **Ковалев, С.М.** Формирование темпоральных баз знаний на основе аппарата растущих пирамидальных сетей / С.М. Ковалев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. научн. тр. III Международного научно-практического семинара. - М.: Физматлит, 2005. - С. 351-357.
- [11] **Колоденкова, А.Е.** Моделирование процесса реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением нечётких когнитивных моделей / А.Е. Колоденкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2016. - № 6 (144). - С. 10-17.
- [12] **Робертс, Ф.С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф.С. Робертс. - М.: Наука, 1986. - 496 с.
- [13] **Dickerson, J.** Virtual worlds as fuzzy cognitive maps / J. Dickerson, B. Kosko // Virtual reality annual international symposium, 1993. - P. 471-477.
- [14] **Силов, В.Б.** Принятие стратегических решений в нечёткой обстановке / В.Б. Силов. - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. - 228 с.
- [15] **Горелова, Г.В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем / Г.В. Горелова // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2013. - № 3. - С. 239-250.
- [16] **Борисов, В.В.** Нечёткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 284 с.
- [17] **Papageorgiou, E.I.** Unsupervised hebbian algorithm for fuzzy cognitive map training / E.I. Papageorgiou, C.D. Stylios, P.P. Groumpos // Proc. Of the 5-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. - Ufa, 2003. - Vol. 1. - P. 209-216.
- [18] **Колоденкова, А.Е.** Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечёткой когнитивной модели / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. 2016. - Т. 20. - № 2 (72). - С. 123-133.
- [19] **Новичихин, А.В.** Методические особенности проектного программирования развития предприятий ресурсного региона (на примере угольной отрасли). - http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin_3_2011.pdf.
- [20] **Sadovnikova, N.P.** Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. - www.vestnik.vgasu.ru.
- [21] **Казанин, И.Ю.** Исследование социально-экономической безопасности Ростовской области, когнитивное моделирование стратегии развития. - http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie_sotsialno_ekonomicheskoy_bezopasnosti_rostovskoy_oblasti_kognitivnoe_modelirovanie_strategii_razvitiya.
- [22] **Боженюк, А.В.** Применение нечетких моделей для анализа сложных систем / А.В. Боженюк, Л.А. Гинис // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Т. 51. - № 1.1. - С. 122-126.

KNOWLEDGE BASE DESIGN FOR THE INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROL AND PREVENTIONS OF RISK SITUATIONS IN THE DESIGN STAGE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

S.M. Kovalev¹, A.E. Kolodenkova²

¹Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia
ksm@rfnias.ru

²Samara State Technical University, Samara, Russia
anna82_42@mail.ru

Abstract

Design of complex technical systems (CTS) is a difficult iterative process. It involves large capital investments, considerable expenses of resources (financial, labor, time), development of a large number of various documentations and also a set of the emerging risk situations. The intelligent control system and preventions of risk situations is necessary for reliable creation of CTS. Such a system would allow to process and analyse quickly large volumes of diverse information, to reveal risk situations at a design stage. Such a system would also be capable of resolving a common question "what would happen with the project of CTS in case of some changes made at the design stage...?" This article is dedicated to creation of the knowledge base of the intelligent control and prevention of risk situations system in the conditions of diverse information environment for design of CTS for a critical infrastructure. The analysis of the main types of models of knowledge representation commonly applied for creation of knowledge bases is carried out. The offered knowledge base is built on the modular principle and uses the generalized scheme of methodology of cognitive and fuzzy cognitive modeling. Novelty is that knowledge in the offered knowledge base is presented in the form of accurate or fuzzy cognitive models and also scenarios of development of the risk situations connected with design of complex technical systems.

Key words: knowledge base, modular approach, accurate and fuzzy cognitive model, complex technical system.

Citation: Kovalev SM, Kolodenkova AE. Knowledge base design for the intelligent system for control and preventions of risk situations in the design stage of complex technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 398-409. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.

Acknowledgment

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research grants 16-07-00032-a, 16-07-00086-a, 17-08-00402-a.

References

- [1] GOST R 15.000-2016. System development and launching products to the production. The main provisions [In Russian]. - Moscow: Standartinform, 2016.
- [2] *Yurkov NK*. System approach to the organization of life cycle of complex technical systems [In Russian]. Reliability and quality of difficult systems: Scientific and practical magazine 2013; 1: 27-35.
- [3] *Lipaev VV*. The problems of software engineering: quality, safety, risk, economy [In Russian]. Software engineering 2010; 1: 7-20.
- [4] *Gavrilova TA, Khoroshevsky VF*. Knowledge bases of intelligent systems [In Russian]. Saint Petersburg: Piter, 2000.
- [5] *Luger D*. Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems [In Russian]. - Moscow: Williams, 2003.
- [6] *Gorelova GV, Melnik EV, Korovin YS*. The design of intelligent distributed information management systems [In Russian]. Proc. of the Internat. scientific-technical conference: Actual problems information and computer technologies, mechatronics and robotics, Multiprocessor computing and control systems. Taganrog 2009; 2: 28-31.
- [7] *Tupikov DV, Rezhikov AF*. Approach to build a fuzzy knowledge base to determine fire-hazard [In Russian]. Mathematical methods in technics and technologies 2014; 3: 125-127.
- [8] *Iskander JM, Crater SP*. A knowledge base of intellectual system of safety management of complex transport systems [In Russian]. Proc. of all-Russian scientific-practical conference: Transport of Russia: problems and prospects. Moscow; 2007: 99.

- [9] *Nechaev VV, Koshkarev MI.* Architecture of object-oriented knowledge base intelligent systems [In Russian]. Educational resources and technology 2015; 1: 156-163.
- [10] *Kovalev SM.* Formation of temporal knowledge bases on the basis of the office of the growing pyramidal networks [In Russian]. Works III of the International scientific and practical seminar: Integrated models and soft computing in artificial intelligence (Moscow, Russia, 2005). - Moscow; 2005: 351-357.
- [11] *Kolodenkova AE.* The process modeling of project feasibility for information management systems using the fuzzy cognitive models [In Russian]. Herald of computer and information technologies 2016; 6: 10-17.
- [12] *Roberts FS.* Discrete mathematical models with applications to social, biological and eco-logical objectives [In Russian]. - Moscow: Nauka, 1986.
- [13] *Dickerson J, Kosko B.* Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. Virtual reality annual international symposium; 1993: 471-477.
- [14] *Silov VB.* Strategic decision making in fuzzy environment [In Russian]. - Moscow: INPRO-RES, 1995.
- [15] *Borisov VV, Kruglov VV., Fedulov AS.* Fuzzy models and networks [In Russian]. - Moscow: Telecom, 2007.
- [16] *Papageorgiou EI, Stylios CD, Groumpos PP.* Unsupervised hebbian algorithm for fuzzy cognitive map training. Proc. Of the 5-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. - Ufa 2003; 1: 209-216.
- [17] *Kolodenkova AE.* Project feasibility estimation to creation information-control systems with procedure application learning of fuzzy cognitive model Vestnik UGATU 2016; 2: 123-133.
- [18] *Gorelova GV.* A cognitive approach for modeling of complex systems [In Russian]. News of SFU. Technical science 2013; 3: 239-250.
- [19] *Novichikhin AV, Ulankin AN.* Methodical features of design programming of development of the enterprises of the resource region (on the example of coal branch). - http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin_3_2011.pdf.
- [20] *Sadovnikova NP.* Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. - <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
- [21] *Kazanin IU.* The study of socio-economic security of the Rostov region, cognitive modeling strategy development. - http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie_sotsialno_ekonomicheskoy_bezopasnosti_rostovskoy_oblasti_kognitivnoe_modelirovanie_strategii_razvitiya.
- [22] *Bozhenuk AV, Ginis LA* Application of fuzzy models for the analysis of complex systems [In Russian]. Control systems and information technology. - 2013; 1.1: 122-126.

Сведения об авторах



Ковалев Сергей Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Таганрогский радиотехнический институт в 1976 г., д.т.н. (2002). Профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения. В списке научных трудов более 200 работ в области интеллектуальных и нечетких систем, нечётко-темпоральных баз знаний, мягких вычислений и экспертной поддержки принятия решений.

Sergey Mikhailovich Kovalev (b. 1954) graduated from the Taganrog radio engineering Institute (Taganrog-city) in 1976, D. Sc. Eng. (2002). He is Professor at Rostov State Transport University (Department of Automation and Remote Control at the Railway on Transport). He is co-author of about 200 scientific articles and abstracts in the field of intelligent and fuzzy systems, fuzzy temporal knowledge bases, soft computing, expert and decision support.



Колоденкова Анна Евгеньевна, 1982 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет в 2004 г., д.т.н. (2017). Инженер Инновационного центра трансфера технологий Самарского государственного технического университета. В списке научных трудов более 120 работ в области атомной энергетики, программной инженерии, системного анализа, интеллектуальных систем, мягких вычислений и экспертной поддержки принятия решений.

Anna Evgenievna Kolodenkova (b. 1982) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (Ufa-city) in 2004, D. Sc. Eng. (2017). She is Associate Professor, Engineer Samara State Technical University (Innovative Centre of Transfer of Technologies). She is co-author of about 120 scientific articles and abstracts in the field of nuclear energy, software engineering, system analysis, intelligent systems, soft computing and expert decision support.

УДК 338.23 (005, 303.09, 330,46)

ОСНОВЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИСТОЧНИКОВ УГРОЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Д.В. Трошин

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

Аннотация

В статье рассматриваются основные особенности источников и субъектов угроз экономической безопасности в национальном масштабе и их отношений к объектам (элементам) системы – национальная экономика. Целью является создание онтологической основы для интерпретации знания о типовых и конкретных источниках угроз экономической безопасности на различных уровнях и в различных узлах системы обеспечения экономической безопасности, в том числе в системе мониторинга экономической безопасности, предусмотренной в Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года. Рассмотрены три основных типа источников: природный, техногенный, антропогенный. Описан характер, типы объектов и мотивы или причины воздействия со стороны источников указанных типов. Отмечены источники информации и задачи, подлежащие решению в ходе подготовки мероприятий по противодействию субъектам угроз. Разработана обобщенная онтологическая схема мониторинга источников угроз. Новизна работы заключается в систематизации и структуризации знания проблемного поля, которое необходимо осваивать для всестороннего информационного и знаниевого обеспечения противодействия источникам угроз экономической безопасности. Предложенная концептуальная модель может служить основой для создания информационной, онтологической, когнитивной и структурно-функциональной моделей, а также эвристик для агентно-ориентированного моделирования поведения источников угроз в рамках автоматизированных систем поддержки и принятия решений по обеспечению экономической безопасности в масштабе страны.

Ключевые слова: источник угрозы, субъект угрозы, ресурс, интерес, мотив, характер воздействия, объект воздействия, экономика.

Цитирование: Трошин, Д.В. Основы концептуальной модели источников угроз экономической безопасности на национальном уровне / Д.В. Трошин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 410-422. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-410-422.

Введение

В настоящее время в отечественной прикладной науке уделяется много внимания проблематике экономической безопасности: анализу угроз, интегральной оценке экономической безопасности, разработке мер по предотвращению или минимизации ущерба. При этом исследованию источников, субъектов угроз уделяется явно недостаточно внимания. В то же время, такие исследования позволят создать научное обеспечение для разработки конкретных мероприятий по предотвращению угроз на начальном этапе их формирования, активному влиянию на источники, субъекты угроз.

Задача воздействия на источники угроз для ликвидации угроз, предотвращения и минимизации рисков с наименьшими затратами решается не одним человеком, а интегральным субъектом обеспечения экономической безопасности России, который представляет собой сложным образом структурированную систему реальных государственных органов, других институтов, субъектов экономической деятельности. В конечном итоге, такая задача стоит в каждом конкретном акте подготовки и принятия решения экспертов и управленцев, каждый

из которых формирует своё индивидуальное представление о конкретных источниках угроз и рисков и моделях управления ими. Источники угроз представляют собой сложную структуру типов объектов и их взаимосвязей. Для адекватного отражения и интерпретации её фрагментов на различных уровнях и в различных узлах системы обеспечения безопасности при решении конкретных задач, обеспечения возможности применения целостной методологии, масштабируемых математических и информационных моделей необходима разработка концептуальной модели источников возникновения угроз и рисков экономической безопасности. Эта модель может быть общей для всех элементов субъекта обеспечения экономической безопасности, описывающая пространства понятий, классов, типов, свойств, характеристик и отношений между ними, при этом отчуждаемая в своей целостности и частях от индивидуальных разумов для хранения в физической форме в памяти машинных комплексов.

1 Общие положения

Понятие «концептуальная модель» возникло в психологии и означало глобальный образ некоторого объекта управления, который позволяет человеку представить его в целостности, соотносить его различные части между собой и с целым. Наличие такого образа в сознании (представлении) человека позволяет ему формировать эффективные механизмы управления.

Концептуальная модель угроз экономической безопасности на федеральном уровне, в соответствии с основополагающими принципами формирования подобных моделей [1, 2], должна представлять собой систематизированное содержательное отражение смысловой структуры мониторинга и анализа источников угроз и рисков экономической безопасности на федеральном уровне с точки зрения их отношения к угрозам, прогнозирования их активности и способности генерировать риски, а также возможностей по влиянию на эти источники в целях ликвидации угроз, предотвращения и минимизации рисков с наименьшими затратами. Создание и развитие концептуальной модели источников и субъектов угроз позволит перейти к имитационному моделированию их поведения [3], в т.ч. в условиях противодействия со стороны субъектов обеспечения безопасности.

Существует три типа источников угроз, отличающихся своей природой:

- природная среда;
- техногенный фактор;
- антропогенный фактор.

Для каждого типа источников должны быть определены отношения источников рисков и угроз:

- типов угроз и порождаемых ими типов рисков событий, т.е. событий, которые являются реализацией угроз и непосредственно наносят ущерб;
- параметров, подлежащие выявлению, наблюдению, анализу и оценке в целях противодействия или нейтрализации источников угроз;
- источников и способов сбора данных об источниках угроз;
- задач, которые целесообразно решать в рамках информационных технологий по анализу источников угроз и противодействия им.

Указанные типы источников угроз находятся между собой во всевозможных причинно-следственных связях. Человеческая деятельность может, например, спровоцировать отравление окружающей среды, вызвать аварию. С другой стороны, техногенная авария или засуха в определённых условиях способны инициировать панику на каком-либо секторе потребительского рынка. Анализ отношений между различными типами источников угроз может положительно повлиять на уменьшение (предупреждение) ущерба, вызываемого каким-либо источником.

Объектами воздействия конечной инстанции со стороны любых источников и рисков являются объекты, имеющие субъектную природу (преследующие свои интересы) – домашние хозяйства, т.е. люди, несущие убытки через:

- ущербы предприятий, распределяемые на работников и акционеров (учредителей) – физических лиц, или сокращение зарплат в бюджетном секторе;
- ухудшение ситуации на потребительских рынках;
- сокращение общественных благ в результате сокращения доходной части в бюджетной системе России.

2 Природные источники

Природные источники в силу своей физической природы могут порождать угрозы и рисковые события, влияющие только на материальные виды ресурсов, поэтому и объектами их воздействия являются физические ресурсы. Через цепочки распространения ущербов косвенно объектом воздействия природных угроз являются также финансы, бюджеты и коммуникационная среда, а также институты и отношения: производственный процесс, конкурентоспособность, самодостаточность экономики, движение ресурсов и кредитования, однако все они опосредованы физическим ущербом в результате природных рисковых событий, поэтому здесь в качестве объектов воздействия не рассматриваются. Непосредственный ущерб, наносимый природными угрозами, исчисляется экономически и физически. Через цепочку распространения ущерба непосредственный ущерб физическим ресурсам может приводить к ущербам, не измеряемым экономическими (денежными) и физическими единицами, однако эти аспекты рассматривается уже на уровне общей модели оценки и прогнозов интегрального ущерба на уровне всей экономики на заданный момент времени или интегрально на заданном интервале времени [4].

Важно отметить, что в перспективе природа может повлиять на самодостаточность экономики и её отраслевую структуру изменением климата, ландшафта (извержение вулкана, высыхание водоёма и др.). Однако для России, беря во внимание её площадь, ландшафтное и климатическое разнообразие, это может иметь значение лишь на уровне отдельных регионов. Теоретически существует возможность катастрофического воздействия из космоса, однако вероятность этого незначительна в обозримой перспективе, а единственной мерой защиты может быть лишь создание стратегических резервов ключевой продукции, которая итак реализуется по более актуальным причинам – возможность войны и погодных аномалий.

В числе субъектов воздействия – домашние хозяйства, т.е. люди, несущие убытки через ущербы предприятий, распределяемые на работников и акционеров (учредителей) – физических лиц, и через ухудшение ситуации на потребительских рынках.

Природные источники могут формировать угрозы, направленные на любые элементы системы «экономика», выделяемые по производственному, социальному, территориально-экономическому признакам, а также на системообразующие факторы экономики. Кроме того, они могут иметь краткосрочный и долгосрочный характер. Например, угроза изменения климата в перспективе может повлиять на системообразующие факторы экономики и потенциал её развития, в т.ч. за счёт изменения конъюнктуры внешнеэкономических сношений.

По природе воздействия через рисковые события природные угрозы уничтожают ресурсы, а также приводят к дезорганизации в форме временного прекращения деятельности (нарушение связи из-за гроз, прерывание транспортной сети и т.п.) и поддаются экономическому измерению.

Человек научился статистически описывать рисковые события природного характера, предсказывать многие из них с некоторой вероятностью, своевременно их фиксировать и

наблюдать, а также обустроить территорию (делать дамбы, каналы, просеки и т.д.), защищать физические объекты в целях предотвращения ущерба (громоотводы, сейсмоустойчивые конструкции, специальная обработка сельхозугодий, вакцинация и т.д.). В то же время его возможности воздействовать на силы природы весьма ограничены. Угрозы и рисковые события природного происхождения невозможно предотвратить и устранить, можно лишь снизить их риск через предотвращение или минимизацию ущерба путём адекватной оценки и принятия соответствующих мер. В связи с этим задача определения параметров наблюдения природных источников угроз экономической безопасности в рамках рассматриваемой проблематики ограничивается наблюдением предвестников зарождения рисковых событий, что, как правило, позволяет предсказать природные рисковые события. Невозможно пока предсказывать падение метеоритов, а также достаточно надёжно прогнозировать катастрофические проявления активности земной коры.

Источниками информации о природных источниках рисковых событий и самих этих событий являются:

- результаты метеонаблюдений, наблюдений земной коры, санитарно-эпидемиологических наблюдений, а также прогнозы погоды, осуществляемые государственными и частными институтами, в т.ч. соответствующими службами конкретных хозяйствующих субъектов на локальном уровне в собственных интересах;
- научные оценки и прогнозы долгосрочных изменений природной среды, разрабатываемые в рамках научно-исследовательских и экспертно-аналитических работ.

Формы и способы предоставления данных могут быть следующие:

- документы, предоставляемые или в регламентном режиме в соответствии с нормативной правовой базой, или в форме срочных донесений по различным средствам связи, в т.ч. в закрытом режиме;
- документы, предоставляемые регулярно на договорной основе по запросу или по факту реализации угрозы, или в форме срочных донесений с использованием различных средств связи;
- научные и экспертно-аналитические документы, предоставляемые на договорной основе в разовом или регулярном порядке;
- первичные общедоступные источники данных соответствующих субъектов, осуществляющих мониторинг и изучение природной среды, в виде специализированных регулярных или разовых печатных изданий;
- первичные общедоступные источники данных соответствующих субъектов, осуществляющих мониторинг и изучение природной среды, на специализированных порталах и web-страницах;
- средства массовой информации (СМИ).

Источники информации могут быть как внутренние, так и внешние. Однако следует учитывать, что неофициальные источники зачастую публикуют недостоверные сведения о природных аномалиях, преследуя коммерческие интересы.

В отношении природных источников в рамках мониторинга экономической безопасности возможно решение только следующих задач:

- организация поступления информации о погоде, природных аномалиях и катаклизмах, включая эпидемии, эпизоотии, нашествия вредителей и т.п., об изменении климата, геологических и космических процессах;
- сбор и анализ информации, включая оценку достоверности;
- анализ эффективности работы, используемых источников информации;
- построение или уточнение сценария нанесения ущерба;

- локализация очага возникновения рисковогго события во времени и пространстве и прогноз его распространения;
- выявления (уточнение списка) объектов воздействия рисковогго событий;
- оценка риска непосредственно для объектов воздействия;
- анализ результативности мер по нейтрализации рисковогго события;
- сохранение ситуации в базе данных и знаний.

Для рисковогго событий, описываемых статистически, через статистически значимый интервал времени наблюдения уточняются статистические параметры рисковогго события, которые используются при оценках соответствующих рисков.

3 Техногенные источники

С точки зрения концептуального описания техногенные источники угроз во многом аналогичны природным.

Условно источником техногенных угроз можно считать любую искусственную систему, участвующую в технологических, производственных и экономических циклах, а также эксплуатируемую домашними хозяйствами, другими субъектами экономической деятельности или социальными группами (включая государственные органы) в интересах отдельных групп, сообществ или общества в целом.

На концептуальном уровне параметры техногенных источников угроз, подлежащие наблюдению, должны отражать следующие особенности состояний и ситуаций эксплуатации конкретных искусственных систем:

- конструктивно заданная, фактическая (по опыту эксплуатации) и оперативная (т.е. на заданном отрезке времени) надёжность функционирования;
- эксплуатационный ресурс - срок службы, степень износа, запас прочности, моторесурс и т.п.;
- дисциплина эксплуатации, соблюдение сроков регламентного обслуживания;
- техническая исправность, в т.ч. исправность систем контроля и обеспечения безопасности эксплуатации;
- напряжённость режимов эксплуатации – степень загруженности, степень использования мощности.

Техногенные источники угроз в основном так же, как и природные уничтожают физические ресурсы или делают их недоступными (полностью или частично, временно или навсегда). Однако есть два существенных отличия. Во-первых, их в значительной степени можно и, следовательно, нужно устранять путём организационно-профилактической, научно-исследовательской, инженерно-конструкторской деятельности в этом направлении. На них в значительной большей степени, чем на природные, оказывают влияние антропогенные источники угроз. Во-вторых, ущербы техногенного характера могут повлечь репутационные издержки, снижение доверия к продукции и производителю.

Кроме того, необходимо отметить такой вид техногенных рисковогго событий, имеющий низкую вероятность проявления, но серьезные, трудно поддающиеся экономической оценке последствия – конфликт в системе программного обеспечения и процессоров вычислительной техники, которые могут привести к дискредитации информации, относимой к конфиденциальной (коммерческая, служебная, государственная тайна, личная информация).

Источниками информации о техногенных источниках рисковогго событий и самих этих событиях являются:

- результаты проверок органами Ростехнадзора и других уполномоченных государственных органов или в рамках государственно-частного сотрудничества;

- результаты наблюдения техническими мониторинговыми службами, в т.ч. с использованием различных датчиков и дистанционного сбора данных в режиме постоянного или периодического наблюдения;
- результаты внутреннего корпоративного и ведомственного контроля и наблюдения. Формы и способы предоставления данных могут быть следующие:
- документы, предоставляемые в регламентном режиме в соответствии с нормативной правовой базой на бумажном носителе или в форме срочных донесений по различным средствам связи, в т.ч. в закрытом режиме;
- документы, регулярно предоставляемые на договорной основе, по запросу или по факту реализации угрозы или в форме срочных донесений с использованием различных средств связи;
- научные и экспертно-аналитические документы, предоставляемые на договорной основе в разовом или регулярном порядке;
- первичные общедоступные источники данных соответствующих субъектов, осуществляющих мониторинг, в виде специализированных регулярных или разовых печатных изданий;
- первичные общедоступные источники данных соответствующих субъектов, осуществляющих мониторинг, на специализированных порталах и web-страницах.

Источники информации могут быть как внутренние, так и внешние. Однако следует учитывать, что информация внешних источников имеет априорно низкий уровень доверия, поскольку, с одной стороны, эти источники могут решать задачи конкурентной борьбы, с другой, имеют ограниченный доступ к первичным данным об искусственных системах.

В отношении техногенных источников в рамках мониторинга возможно решение следующих задач:

- организация поступления необходимой информации об искусственных объектах;
- сбор и анализ информации, включая оценку достоверности;
- анализ эффективности работы используемых источников информации;
- построение или уточнение сценария нанесения ущерба;
- локализация очага возникновения рискового события во времени и пространстве и прогноз его распространения;
- выявления (уточнение списка) объектов воздействия рисковых событий;
- оценка риска непосредственно для объектов воздействия;
- анализ результативности мер по нейтрализации рискового события;
- сохранение ситуации в базе данных и знаний.

4 Антропогенные источники

В основе деятельности антропогенных источников лежат личные интересы или интересы какой-либо организационной системы. При этом целесообразно полагать, что субъект угрозы, следуя своему мотиву, как правило, предполагает результат и действует, максимизируя свою функцию полезности. Эта эвристика позволяет дополнительно аргументировать полезность профилактических мер, включающих «демонстрацию силы» и информирование о степени защиты объектов угроз и решимости на активные противодействия.

По характеру в отношении интересов России мотивы субъектов угроз (причины угроз) можно разделить на следующие типы:

- опережение - создание конкурентных и стратегических преимуществ источнику угрозы, нарушение паритета в пользу источника угрозы без непосредственного воздействия на ресурсы России и механизмы их использования и развития; здесь угроза появляется как

следствие собственного развития и устройства бытия со стороны элемента - субъекта среды;

- эгоизм - разрешение внутренним для России субъектом конфликта своих субъективных интересов и интересов России (общества в целом) в свою пользу, не считаясь с интересами России (общества в целом);
- злонамеренность - конкретно преследование цели нанесения ущерба России;
- ошибки.

Источник угроз, руководствующийся первым типом мотивации (причин), по правовым основаниям и закону справедливости не может быть подвергнут никакому вредному для него воздействию. Противостоять ему можно только путём собственного развития и успешного ведения конкурентной борьбы или паритетного взаимодействия. В остальных случаях может быть применён спектр правовых, административных, организационных, институциональных, информационно-психологических, военных средств воздействия.

Антропогенные источники, в отличие от природных и техногенных, не всегда очевидны. Кроме того, в качестве источника какой-либо угрозы на модельном уровне может рассматриваться группа, в т.ч. большая, лиц (например, домашние хозяйства), не являющаяся системой изначально, но действующая в некоторых условиях одинаково (аналогично, похоже, в одном направлении) в некотором отношении в собственных интересах как некоторый типичный агент, и тем самым формируя угрозы и рисковые события. Кроме того, в действиях членов группы может возникнуть неравновесное состояние, поддерживаемое внешними условиями, приводящее к эффекту самоорганизации, приводящей к упорядоченности действий и мобилизации ресурсов на какое-либо целенаправленное спонтанное поведение, вплоть до поведения «толпы» [5].

В действительности эффективно противостоять этому в правовом социальном государстве в краткосрочном масштабе можно путём своевременного и качественного информирования, а в среднесрочном и долгосрочном - согласованием интересов общего и частного в рамках практической реализации положений *эвергетики* о приобретении интересосубъективных конвенциональных знаний, являющихся результатами соглашений акторов [6].

Интересы коллективных субъектов могут быть объективно обусловлены, а могут быть навязаны лидерами, СМИ, другими источниками информации из корыстных побуждений или по безответственному невежеству. В этом случае характер противодействия угрозам меняется.

Антропогенные источники угроз используют весь спектр способов нанесения ущерба, однако не каждый способ доступен любому типичному источнику и конкретному источнику определённого типа. Наибольший риск несут те, которые негативно влияют на мотивацию субъектов экономической деятельности, организацию экономических циклов, человеческий потенциал и другие системообразующие факторы, целеполагание, совершенствование системы и условий функционирования системы «экономика» (нормативное правовое и институциональное обеспечение). Наносить ущерб субъекты угроз могут как действием, так и бездействием по отношению к выявлению и устранению уязвимостей в зонах своей ответственности.

Противодействие источникам антропогенных угроз сопряжено со следующими трудностями:

- выявление конкретных субъектов и идентификация их мотивов;
- несовершенство нормативной правовой базы и её использования для ограничения деятельности вопреки национальным интересам в сфере экономики;
- объективные ограничения возможности использования нормативной правовой базы для пресечения многих видов деятельности (в особенности бездеятельности), противореча-

щей национальным интересам в сфере экономики, в условиях правового государства и применения принципа презумпции невиновности вследствие трудностей формализации и общественной легитимации критериев идентификации субъектов в качестве источников угроз и их соответствующей деятельности;

- существенная неоднородность общественных представлений о социальной норме, смысле и значении национальных интересов в настоящий исторический момент, что сокращает мобилизационный потенциал общества для противодействия источникам угроз и поддержку административных и политических действий власти в этом направлении;
- присутствие части субъектов угроз за пределами юрисдикции России, общественного контроля и общественной обструкции со стороны российского общества.

В рамках мониторинга для создания информационной основы имитационного моделирования поведения субъектов угроз и противодействия им необходимо их выявлять и описывать в формализованном виде, создавать профиль типа субъекта - источника угрозы. Субъект угрозы может быть личностью или группой.

Профиль субъекта должен включать ряд аспектов.

Для личности устанавливаются следующие характеристики:

- общественный статус и общественная роль (массовый потребитель, предприниматель, банкир, чиновник, законодатель, технократ (топ-менеджер), работник (не технократ), общественный (партийный) деятель, журналист, новатор, эксперт или аналитик, нерезидент-представитель иностранных организаций (в т.ч. разведывательных и подрывных), нерезидент-предприниматель, представитель криминальных структур, диверсант, террорист);
- принадлежность к группе, представляющей организационную систему или неорганизованного коллективного носителя некоторых интересов;
- интересы группы и их отношение к объекту воздействия и национальным интересам России;
- мотивация генерации угроз и рисков событий;
- генерируемые угрозы и рискованные события;
- потенциал нанесения ущерба объектам защиты;
- соответствие профиля субъекта риска аналогиям, хранящимся в памяти субъекта обеспечения экономической безопасности;
- возможный характер воздействия на субъект-источник: создание системы мотивации, эффективная конкуренция, адекватные парирующие действия, информационно-разъяснительное воздействие, уголовное преследование, административное наказание, кадровые решения;
- субъекты обеспечения экономической безопасности, ответственные за нейтрализацию субъекта-источника угрозы.

Для коллективного субъекта используются следующие характеристики:

- общественный статус и общественная роль (общественная организация, профессиональное сообщество, государственный орган, неформальное объединение заинтересованных лиц, корпорация или предприятие, СМИ, неправительственная организация, неправительственная организация – иностранный агент, юридическое лицо - нерезидент, официальное иностранное представительство, иностранный конкурент, транснациональный конкурент, зарубежная государственная структура, зарубежная общественная структура, организованная преступная группа или сообщество, а также, отдельно, международная террористическая организация);
- интересы группы и их отношение к объекту воздействия и национальным интересам России;

- мотивация генерации угроз и рисков событий;
- генерируемые угрозы и рисков события;
- потенциал нанесения ущерба объектам защиты;
- наличие в памяти субъекта обеспечения экономической безопасности, изучающего конкретный антропогенный источник, аналогий профилю рассматриваемого источника угроз и рисков;
- возможный характер воздействия на субъект-источник: разработка и принятие организующих политических, концептуальных, программных, плановых и т.п. документов государственного уровня, создание системы мотивации, административные меры, кадровые решения, реорганизация государственных органов, эффективная конкуренция, адекватные парирующие действия экономического характера, информационно-разъяснительное воздействие, информационная компания в СМИ, уголовное преследование, дипломатические меры, военные меры;
- субъекты обеспечения экономической безопасности, ответственные за нейтрализацию субъекта-источника угрозы: Правительство России, Банк России, Минэкономразвития России, МИД России, Минобороны России, другие федеральные органы государственной исполнительной власти России, включая правоохранительные органы, а также государственные органы в субъектах Федерации, корпорации, коммерческие банки, профессиональные объединения, научно-технические и экспертно-аналитические институты.

Источники информации могут быть как внутренние, так и внешние, и спектр их весьма разнообразен. На уровне абстрактности, соответствующем описанию основ концептуальной модели антропогенных источников угроз и рисков, можно выделить следующие типичные источники:

- хозяйственная деятельность с точки зрения участия в секторах рынка, бизнес-стратегий, тактики, принципов и инструментов конкурентной борьбы, законности деятельности, вовлечённости в транснациональные корпорации и партнёрство с иностранными государствами, использование оффшорных зон, теневого сектора;
- публичная деятельность, выступления, публикации, заявления, акции, участие в мероприятиях;
- профессиональная деятельность, выполнение служебных обязанностей, соответствие целей и результатов деятельности национальным интересам России и, в частности, целям развития экономики России;
- обстоятельства личного бытия, образ жизни; системы связей, в т.ч. в ретроспективе и опосредованные;
- законотворческая, административная, политическая деятельность.

В отношении антропогенных источников в рамках мониторинга возможно решение следующих задач:

- организация поступления необходимой информации о деятельности различных государственных и общественных институтов, иностранных субъектов в России и за рубежом, имеющих отношение к функционированию экономики России;
- сбор и анализ информации, включая оценку достоверности;
- анализ эффективности работы используемых источников информации;
- анализ мотивации и целей субъекта угроз;
- сбор информации о субъектах угроз, включая субъекты-личности и лидеров коллективных субъектов в целях выявления их мотивов, целей и возможностей нейтрализации их негативной в отношении России деятельности;
- разработка мер по нейтрализации негативной в отношении экономики России деятельности субъекта - источника угроз и рисков;

- построение или уточнение сценария нанесения ущерба;
- локализация очага возникновения рисков события во времени и пространстве и прогноз его распространения;
- выявления (уточнение списка) объектов воздействия рисков событий;
- оценка риска непосредственно для объектов воздействия;
- анализ результативности мер по нейтрализации рисков события;
- сохранение ситуации и профиля субъекта-источника угроз и рисков в базе данных и знаний.

5 Концептуальная модели источника угроз

При создании информационных и когнитивных моделей для реализации государственной системы мониторинга должны быть разработаны типы источников угроз и рисков и их отношения с типологией и классификацией факторов ущерба – угроз, рисков событий, рисков, уязвимостей. Кроме того, в ходе практической работы должны создаваться и запоминаться в качестве аналогов и прототипов концептуальные, информационные и когнитивные модели по конкретным группам типичных источников, вплоть до отдельных источников, имеющих важное значение, существенную особенность, высокую повторяемость.

На рисунке 1 представлена общая схема концептуальной модели источника угроз, содержащая основные её разделы.



Рисунок 1 – Общая схема концептуальной модели источника угроз

На рисунке 2 представлена обобщённая онтологическая схема мониторинга источников (субъектов) угроз, которая должна служить основой для разработки информационной модели источника угроз, структурно-функциональных схем анализа их деятельности и подготовки мероприятий по парированию их деятельности и предотвращению ущерба и, в конечном итоге, создания информационных технологий и информационно-аналитических автоматизированных систем осуществления мониторинга и парирования активности источников (субъектов) угроз. Стрелками на рисунке 2 показано направление логической связи, двойной стрелкой показаны множественные отношения («многие по многим»).

Благодарности

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счёт бюджетных средств по государственному заданию Финуниверситета 2017 года. Статья рекомендована к опубликованию в научном издании учёным советом факультета анализа рисков и экономической безопасности имени профессора В.К. Сенчагова Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Список источников

- [1] *Birta, L.G.* Modelling and Simulation: Exploring Dynamic System Behaviour / L.G. Birta, G. Arbez, Springer, 2007.
- [2] *Robinson, S.* Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling / S. Robinson, J. Oper. Res. Soc. 59 (3) (2008) 291–304.
- [3] *Витевский, В.Д.* Иерархическое управление концептуальными моделями в интересах имитационного моделирования / В.Д. Витевский, С.В. Сухова / В сб.: Управление большими системами (УБС'2016) Материалы XIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Под общей редакцией Новикова Д.А., Засканова В.Г.; Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; Самарский университет. 2016. С. 287-299.
- [4] Основные методологические, организационно-технические и информационные аспекты создания системы управления экономическими рисками на федеральном уровне // Информационно-аналитическая система мониторинга угроз экономической безопасности РФ в инновационной и научно-технологической областях: общие контуры системы / Сб. матер. симпозиума «Проблемы стратегического управления», Москва, 15 марта 2017 г. / Под ред. С.Н. Сильвестрова. М.: Когито-Центр. 2017. – 61 с.
- [5] *Пальцев, А.И.* Психология управления действующей агрессивной толпой в особых условиях / А.И. Пальцев // Сибирский международный № 16. 2014.
- [6] *Виттих, В.А.* Понятие интересубъективности в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2014. - №4. - С. 90-97.

FOUNDATIONS OF A CONCEPTUAL MODEL OF ECONOMIC SECURITY THREAT SOURCES AT THE NATIONAL LEVEL

D.V. Troshin

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

Abstract

The article considers the main features of sources and subjects of threats to economic security at the national level as well as their relations to the national economic system's objects (elements). The aim is to create an ontological basis for interpreting knowledge of typical and specific sources of threats to economic security at various levels and in various nodes of the system for ensuring economic security, including in the monitoring system for economic security, as stipulated in the Strategy for Economic Security of the Russian Federation for the period until 2030. Three main threat source types are considered: natural, technogenic, anthropogenic. The character, types of objects and motives or causes of the threat sources are described. Sources of information and tasks to be resolved in the course of preparing measures to counter threat subjects are noted. A generalized ontological scheme for monitoring sources of threats was developed. The novelty of the work lies in the systematization and structuring of the knowledge of the problem field, which must be mastered for comprehensive information and knowledge provision of counteracting the sources of threats to economic security. The proposed conceptual model can serve as a basis for the creation of information, ontological, cognitive and structural-functional models, as well as heuristics for agent-based modeling of the behavior of threat sources within the framework of automated support systems and decision-making for economic security on the national level.

Key words: *threat source, subject of threat, resource, interest, motive, nature of influence, object of influence, economy.*

Citation: Troshin D.V. Foundations of a conceptual model of economic security threat sources at the national level [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 410-422. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-410-422.

Acknowledgment

The article is prepared on the basis of the results of studies carried out at the expense of budgetary funds on the state task of the University of Finances in 2017. The article is recommended for publication by the academic council of the Faculty of Risk Analysis and Economic Security named after Professor V.K. Senchagov of Financial University under the Government of the Russian Federation.

References

- [1] **Birta LG., Arbez G.** Modelling and Simulation: Exploring Dynamic System Behaviour. Springer, 2007.
 - [2] **Robinson S.** Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling, *J. Oper. Res. Soc.* 59 (3) (2008) 291–304.
 - [3] **Vitevsky VD., Sukhova SV.** Hierarchical management of conceptual models for the benefit of imitating modeling [in Russian]. In the collection: Management of big systems (UBS'2016) Materials XIII of the All-Russian school conference of young scientists. Under the general edition of Novikov D.A., Zaskanova V.G.; Institute of problems of management of V.A. Trapeznikov of RAS; Samara university. 2016. P. 287-299.
 - [4] The main methodological, organizational and technical and information aspects of creation of a control system of economic risks at the federal level//the Information and analytical system of monitoring of threats of economic security of the Russian Federation in innovative and scientific and technological areas: the general contours the system. Collection of materials of a symposium of "A problem of strategic management" [in Russian]. Moscow, on March 15, 2017 / Under the editorship of S.N. Silvestrov. M.: Kogito-center. 2017. – 61 p.
 - [5] **Paltsev AI.** Psikhologiya of management of the acting aggressive crowd in special conditions [in Russian]. *The Siberian international*, No. 16. 2014.
 - [6] **Vitikh VA.** Concept of intersubjectivity in evergetics [in Russian]. *Ontology of designing*. - 2014. – No. 4. – P. 90–97.
-

Сведения об авторе



Трошин Дмитрий Владимирович, 1960 г. рождения. Окончил Военный инженерный Краснознамённый институт им. А.Ф. Можайского в 1982 г., к.т.н. (2000). Ведущий научный сотрудник Института экономической политики и проблем экономической безопасности Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. В списке научных трудов около 60 работ в области поддержки принятия решения, системного анализа, экономической безопасности.

Troshin Dmitry Vladimirovich, (b. 1960) graduated from Military Engineering Institute named after A.F. Mozhaysky in 1982, PhD (2000). He is Leading researcher of Institute of Economic Policy and Problems of Economic Security of the Financial University under the Government of the Russian Federation. He is co-author about 60 works in the field of support of decision-making, the system analysis, economic security.

УДК 631.3.635

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПУТИ РЕШЕНИЯ

Н.М. Боргест^{1,2,a}, Д.В. Будаев^{3,4,b}, В.В. Травин^{1,c}

¹ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, Россия

² Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

³ Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

⁴ Научно-производственная компания «Сетецентрические платформы», Самара, Россия

^a borgest@yandex.ru, ^b budaev@smartsolutions-123.ru, ^c travin@kg.ru,

Аннотация

Развитие аэрокосмических и информационных технологий, наряду с успехами в агрохимии, семеноводстве и биологии в целом, позволили поднять эффективность земледелия и растениеводства. В статье представлен краткий обзор работ в предметной области «точное земледелие». Рассмотрены вопросы информационной поддержки точного земледелия в области рационального распределения ресурсов на основе использования средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Рассматриваются различные типы летательных аппаратов (ЛА) от космических спутников до дронов, способных осуществлять ДЗЗ для сельхозпроизводителей. Результаты мониторинга сельхозугодий ЛА позволяют в оперативном режиме принимать локальные и стратегические решения по ситуациям, которые в реальной жизни характеризуются большой динамикой. Наличие у аграриев соответствующего инструментария в виде баз знаний и данных, систем поддержки принятия решений повышает эффективность земледелия. В работе рассмотрены различные предметные онтологии (онтологии растений, онтологии признаков растений, онтологии экспериментальных условий и др.) и онтологии задач, решаемых в области точного земледелия. Представлены оригинальные результаты онтологического моделирования исследуемой области на основе конструктора баз знаний, разрабатываемого компанией «Разумные решения». Для решения задачи распределения ресурсов и планирования работ предлагается использовать мультиагентный подход.

Ключевые слова: точное земледелие, онтология, мультиагентные технологии, конструктор баз знаний.

Цитирование: Боргест, Н.М. Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения / Н.М. Боргест, Д.В. Будаев, В.В. Травин // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 423-442. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.

Введение

Развитие аэрокосмических и информационных технологий [1-8], наряду с успехами в агрохимии, семеноводстве и биологии в целом, позволили поднять эффективность земледелия и растениеводства [9-15]. О бурном росте научно-исследовательских и прикладных работ в области точного земледелия свидетельствует вал публикаций в отечественной и зарубежной печати, в Интернете, наблюдается активное обсуждение этой темы на форумах и конференциях [16-24].

В основе научной концепции высокоточного (прецизионного или координатного) земледелия лежат представления о существовании неоднородностей (рельеф и процессы рельефообразования, мерзлотные явления и неоднородность снежного покрова, неоднородность почвообразующих пород, воздействие грунтовых и дождевых вод, пестрота растительного покрова, воздействие животного мира и деятельность самого человека). *Точное земледелие* — комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информацион-

ные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологию переменного нормирования (Variable Rate Technology) и технологии дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) [25].

В статье предлагаются способы формирования оценки и выбора концептуальных решений в рамках выполнения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме: «Разработка моделей, методов и средств сетевого взаимодействия для построения группировок аэрокосмических систем ДЗЗ для решения задач точного земледелия», проводимых группой самарских компаний, университетов и академических институтов.

1 «Точное земледелие» в Сколково: текущая ситуация и перспектива

Первая конференция «Точное земледелие» в Сколково прошла в 2016 году и собрала более 40 российских и международных докладчиков и свыше 350 специалистов аграрного бизнеса. Мероприятие показало, что в России уже существуют примеры успешной разработки и внедрения технологий точного земледелия, однако основная часть сельхозпроизводителей не используют возможности новых технологий для повышения экономической эффективности работы сельхозпредприятий.

Прошедшая в марте 2017 года вторая конференция [20] наглядно показала текущее состояние развития российского агропрома и, в частности, состояние его информационной поддержки, способной поднять эффективность земледелия. Инженерные и ИТ-решения помогают сельхозпроизводителям выйти на новый уровень эффективности производства, и поэтому всё больше российских сельскохозяйственных предприятий начинают проявлять интерес к технологиям точного земледелия.

В докладе [21] представлены технологии поддержки принятия решений в агропромышленном комплексе (АПК). В частности, с опорой на прогноз научно-технологического развития АПК отмечаются такие ключевые технологии как:

- технологии локально дифференцированного, адаптивного внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР);
- технологии диагностики дефицита макро- и микроэлементов в питании сельскохозяйственных растений в режиме реального времени;
- технологии робототехники на основе искусственного интеллекта, роевого интеллекта, машинного обучения.

Стратегия научно-технологического развития России наметила «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» [21].

На конференции [20], на платформе «Национальные технологические инициативы» представлен ряд важных для сельского хозяйства направлений: точное земледелие (FoodNet), дистанционное зондирование земли (SpaceNet) и мониторинг в сельском хозяйстве (AeroNet). При участии промышленных партнеров Фонда «Сколково» ведётся активная интеграция этих технологий на обширных посевных площадях России.

Учёные из Казахского агротехнического университета под девизом «Smart Agriculture is New Agricultural Revolution» представили своё видение умного сельского хозяйства и его перспективы [22].

Новые возможности спутникового сервиса ВЕГА-Pro для решения задач оценки состояния и используемости земель представлены в докладе сотрудников Института космических исследований (ИКИ) РАН и ООО «ИКИЗ» [23]. ВЕГА-Pro - это основанный на спутниковых технологиях сервис для оперативного анализа состояния растительности. В основе сервиса -

архивы данных о состоянии растительности, полученные на основе спутников. По любому району в сервисе имеются оперативные и архивные данные с начала 21-го столетия. Сервис в основном ориентирован на использование общедоступных зарубежных и российских данных от 20-спутниковых приборов [26].

В основу сервиса легли многолетние разработки ИКИ РАН в области автоматизированных методов и технологий сбора, обработки и распространения спутниковых данных. Поддержку работы сервиса ВЕГА-Pro осуществляет ООО «ИКИЗ», компания-участник Кластера космических технологий и телекоммуникаций Сколково.

В докладе [24] представлен сервис дистанционного мониторинга состояния растительности и условий земледелия Геоаналитика.Агро¹. Геоаналитика.Агро — облачный геоинформационный веб-сервис, предназначенный для поддержки принятия решений в области сельского хозяйства, решения комплекса производственных и управленческих задач, стоящих перед сельхозпроизводителями, органами государственной власти, представителями бизнеса, страховых компаний и инвесторов. В докладе выделены основные направления информатизации сельского хозяйства:

- точное земледелие (дифференцированный посев, внесение удобрений, прогноз урожая);
- ДЗЗ (широкое внедрение дистанционных методов сбора информации);
- облачные сервисы (получение информации в режиме реального времени);
- контроль и учёт (датчики учёта, системы мониторинга подвижного состава);
- мобильные приложения (широкое внедрение мобильных решений).

Стоит выделить опыт внедрения технологий точного земледелия в компании «Русагро» (К. Алифанов), облачный сервис «История поля» компании ГЕОМИР (И. Воронков), робототехнику и беспилотные технологии для сельского хозяйства в докладе представителя Национальной ассоциации участников рынка робототехники (А. Конюховская), опыт применения технологий точного земледелия на примере хозяйства «Белокалитвинская» (П. Чекин) [20].

Наряду с явными успехами в области точного земледелия Д. Мусатов из компании «КРМГ» отметил отсутствие интереса к высоким технологиям в агросекторе. В частности, были названы причины, которые затрудняют массовое внедрение технологии точного земледелия. Это: отсутствие *инвестиций* на долгий период, узкая *применимость* — лишь для высокодоходных культур, и низкий уровень *государственной поддержки*, который составляет менее 5 %. О необходимости подготовки и переподготовки кадров для сельского хозяйства в новых условиях говорили многие участники конференции [20].

2 Предметная область

В работе в качестве предметной области (ПрО) рассматривается точное земледелие [25, 27-33] и, в частности, вопросы его информационной поддержки в области рационального распределения ресурсов на основе использования средств ДЗЗ. Результаты ДЗЗ позволяют в оперативном режиме принимать локальные и стратегические решения по ситуациям, которые в реальной жизни характеризуются большой динамикой. Наличие у аграриев соответствующего инструментария повышает эффективность земледелия. Точное земледелие применяется для улучшения состояния полей и агроменеджмента по направлениям:

- *агрономическое*: учитываются реальные потребности культуры в удобрениях;
- *техническое*: улучшается планирование сельскохозяйственных операций;
- *экологическое*: сокращается негативное воздействие сельхозпроизводства на окружающую среду;
- *экономическое*: повышается эффективность агробизнеса.

¹ Геоаналитика.Агро - <http://agro.geoanalitika.com/>

Сегодня аграрии могут точно рассчитать количество семян, удобрений и других ресурсов для каждого участка поля. После составления карт полей с указанием характеристик каждого его участка создаётся возможность рационально распределять ресурсы между ними [27].

Область исследований включает в себя поиск адекватных реальной производственной ситуации методов повышения эффективности земледелия за счёт рационального планирования ресурсов, имеющихся в распоряжении сельхозпредприятия, включая возможность получения необходимых для агробизнеса данных от сторонних источников. Выбор методов, средств и технологий должен учитывать динамику реальных производственных процессов и ситуаций, неоднородность полей, качества семенного фонда и вносимых удобрений, качества сева культур, их обработки, непредсказуемость и риски климатических и погодных условий, логистические, технологические и технические сбои, человеческий фактор и др.

Разрабатываемые системы информационной поддержки точного земледелия должны опираться на актуальные данные о состоянии всех имеющихся ресурсов у сельхозпроизводителя, на знаниях об агропроизводстве, технологических процессах получения и обработки данных ДЗЗ с космических аппаратов (КА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), характеристиках типового оборудования КА и БПЛА, возможностях (временных, организационных, технических, погодных) и потребностях (стоимостных, энергетических) их участия в поставке актуальной информации для принятия решений.

3 Средства и способы ДЗЗ

На рисунке 1 представлены основные типы современных и перспективных отечественных аэрокосмических средств, которые применяются для ДЗЗ. Это космические спутники (спутник ДЗЗ «Ресурс-П»), атмосферные псевдоспутники (АПС – например, разработка Самарского университета для высот 20-25 км), высотные самолеты (М-55 «Геофизика»), беспилотные самолеты на средних высотах (авиационный комплекс дистанционного зондирования Иркут-2М), БПЛА на низких высотах (Геоскан 201 Агро, 3М, Коптер-опрыскиватель ОСА и др.). На одном лишь Интернет-ресурсе «Российские беспилотники» [34] представлено более 30 беспилотных комплексов: самолётные, мультироторные, вертолётные, аэростаты, конвертопланы, автономные беспилотники и др.

Каждый из представленных типов летательных аппаратов (ЛА) и соответствующим техническим, программным и организационным обеспечением имеет свои «возможности» и «потребности» в реализации задач ДЗЗ. Эти «возможности» ЛА определяют содержание задач и точность ДЗЗ, периодичность зондирования сельскохозяйственных участков, погодные и климатические условия работы, способ хранения, обработки и передачи данных в виде, удобном для анализа пользователям (агрономы, управленцы и др.). «Возможности», которыми располагают ЛА, должны соответствовать «потребностям», которые формулируют специалисты в растениеводстве, а «потребности» аэрокосмических систем в материальных, финансовых, организационных, энергетических ресурсах должны покрываться «возможностями» аграриев, т.е. наличием у них обеспечивающих эти возможности ресурсов.

Точное земледелие — это в первую очередь высокотехнологический менеджмент. Он включает в себя систему технических и организационных мер [14]. Вот некоторые рекомендации, основанные на практике внедрения точного земледелия [20-24]:

- Необходимо проработать полноценное техническое задание и иметь чёткий план реализации проекта внедрения точного земледелия с конкретными этапами.
- Руководителем проекта должен быть специалист с соответствующими полномочиями, неподчиненный агрономической и техническим службам, с мотивацией на результат.
- Покупать только те услуги, результат которых будет применяться в проекте.



Рисунок 1 - Основные типы современных и перспективных отечественных аэрокосмических средств ДЗЗ

Главная проблема большинства технологических разработчиков в том, что они не вполне понимают особенности агросектора, что в их коммуникациях с представителями агробизнеса не хватает системности [14].

4 Требования к способам представления знаний

Универсального способа представления знаний, знаний о мире, о процессах в нём, к сожалению, нет. Хорошо формализованные знания позволяют эффективно использовать мате-

математический аппарат, содержательные знания развивают семантическое моделирование. База знаний (БЗ) является одним из важнейших компонентов интеллектуальной системы, которая создаётся на основе знаний высококвалифицированных специалистов. При построении БЗ важным является выбор способа представления знаний. Основные типы моделей представления знаний, которые применяются к процессу построения БЗ, включают [35, 36]: продукционные модели; семантические сети; фреймовые модели; онтологии; и др.

Эти и другие способы представления знаний в определённой степени лишь инструмент, который хорош, когда соответствует обрабатываемому материалу и условиям применения. Особое место в формализации знаний занимает бурно развивающееся направление онтологического анализа и моделирования, особенно в системах искусственного интеллекта. Отсюда понятен выбор специалистами-аграриями [28-29, 37-44] этого способа представления знаний, который включает тезаурус, тематические БЗ в форме онтологий ПрО.

Для получения согласованного набора описаний агротехнологий все артефакты, используемые в описаниях, сводятся в глоссарий и только через него используются и добавляются в разрабатываемую систему. При стремлении к созданию расширяемых информационных интеллектуальных систем, в том числе и за счёт сторонних разработчиков программных модулей, математических моделей и собственно описаний агротехнологий, возникает известная проблема однозначности определений типов и понятий в ПрО и их взаимосвязей.

Считается, что специалистам в исследуемой ПрО необходимо вести работы для создания единого для всех формализованного описания хотя бы основных понятий ПрО. Базы знаний должны не позволять исчезнуть знаниям выбывающих специалистов (уход на пенсию, увольнение и пр.) и хранить большие объёмы данных и знаний из различных источников. Онтологии обеспечивают словарь для представления и обмена знаниями о ПрО и множество связей, установленных между терминами в этом словаре [29].

Системная инженерия состоит из моделирования и формализации процесса разработки системы. Согласно международному стандарту ISO/IEC 15288 системную инженерию можно определить как процесс, который преобразует исходные требования и спецификации в эффективно функционирующую систему. На первоначальных этапах разработки исходные требования и спецификации являются нечётко выраженными, так как они являются результатом взаимодействия множества заинтересованных лиц и ведомств. Ни один из разработчиков не имеет полного представления о разрабатываемой системе вне области своих интересов, которые выражаются системой понятий и терминов специфичной для каждой конкретной ПрО. Таким образом, проблемы системной инженерии частично обусловлены фактом использования естественного языка и ограниченной областью компетентности разработчиков. Путь преодоления этих проблем состоит в моделировании и формализации процесса разработки системы.

На начальных стадиях формирования и проектирования теоретических и практических моделей необходим семантический анализ, например, в результате терминологическо-семантического анализа из многих формулировок и определений в различных научных и практических направлениях промышленного садоводства выделяют исходные термины и понятия. Определяют основные составляющие интенсивного садоводства: нормативная, организационная, экономическая, машиностроительная, а также бизнес-технологическая. Сформировав ключевые термины и понятия, а также основные составляющие современного интенсивного садоводства, разрабатывается алгоритм создания общей онтологической модели, необходимой для гармонизации всех аспектов промышленного садоводства [43].

Использование онтологий также имеет смысл и с точки зрения логики научных исследований, определяющей, что степень развития какой-либо научно-практической теории характеризуется состоянием понятийно-терминологического аппарата. Оперирование понятиями и

терминами (семантический анализ) является необходимым условием на начальных стадиях формирования и проектирования теоретических и практических моделей. Чётко сформированная система понятий и терминов выступает своеобразным катализатором, источником постановки и осознания проблемы.

При проведении онтологического анализа обычно исходят из того, что [45]:

- не существует единственного правильного способа моделирования ПрО – всегда существуют жизнеспособные альтернативы;
- разработка онтологии – это обязательно итеративный процесс;
- понятия в онтологии должны быть близки к объектам (физическим или логическим) и отношениям в интересующей ПрО.

Алгоритм онтологического анализа может быть представлен в виде следующих шагов [43-45]:

- 1) формирование системообразующего понятия (определяющего область и масштаб онтологии);
- 2) проведение структурного анализа (обозначение терминологического поля);
- 3) формирование кортежей исходных терминов и понятий;
- 4) формирование информационных доменов (классов) онтологической модели.

В работе [21] подчеркивается, что важна единая онтология ИТ-компаний и сельхозработников, в противном случае информационные системы и датчики не могут быть совместимы друг с другом.

5 Онтологии предметной области

Согласованный набор описаний агротехнологий обеспечивается сведением используемых описаний в общий глоссарий разрабатываемых информационных интеллектуальных систем с целью решения проблемы однозначности определений типов и понятий в ПрО и их взаимосвязей. Специалистам в рассматриваемой ПрО необходимо вести работы для создания единого для всех формализованного описания основных понятий ПрО [29].

Онтология растениеводства представляет собой формализованное описание растениеводства. Определение и построение онтологии включает анализ ПрО, выделение базовых онтологических элементов (объектов, их атрибутов, отношений и процессов), проведение операций над этими онтологическими элементами [28, 29] (см. рисунок 2).

В настоящее время в мире создано большое количество онтологий и словарей по растениеводству (см., например, таблицу 1 [38]).



Рисунок 2 – Формализация агрономических знаний [29]

Таблица 1 – Онтологии и словари по растениеводству

Имя онтологии	Область знаний	Источник URL
Plant Ontology (PO)	plant structures and developmental stages	http://browser.planteome.org/amigo https://github.com/Planteome/plant-ontology
Plant Trait Ontology (TO)	plant traits	http://browser.planteome.org/amigo https://github.com/Planteome/plant-trait-ontology
Plant Experimental Conditions Ontology (PECO)	treatments and growth conditions used in plant science experiments	http://browser.planteome.org/amigo https://github.com/Planteome/plant-experimental-conditions-ontology
Gene Ontology (GO)	molecular functions, biological processes, cellular components	http://www.geneontology.org/
Phenotypic Qualities Ontology (PATO)	qualities and attributes	https://github.com/pato-ontology/pato
Chemical Entities of Biological Interest (ChEBI)	molecular entities of biological interest focusing on ‘small’ chemical compounds	https://www.ebi.ac.uk/chebi/
Evidence and Conclusion Ontology (ECO)	evidence types for supporting conclusions in scientific research	http://www.evidenceontology.org/
Planteome NCBI Taxonomy*	taxonomic hierarchy	https://github.com/Planteome/planteome-ncbi-taxonomy

Различают онтологии растений, онтологии признаков растений, онтологии экспериментальных условий и др. Фактически в арсенале агронома уже имеются формализованные базы данных и знаний по многим сельскохозяйственным культурам. Разработаны и инструменты для работы. Так, проект Planteome предоставляет API (http://planteome.org/web_services), который позволяет получать доступ к данным и использовать их. Вызовы API можно настроить для запроса любых терминов онтологии, их определений и других атрибутов и аннотационных данных, возвращающих их в формате JSON. Проект Planteome также предоставляет стандартизованный веб-сервис, основанный на API BioLink (<http://biolink.planteome.org/api/>). BioLink представляет собой биомедицинские и биологические объекты и отношения между ними. Сюда относятся гены, болезни, фенотипы и метаданные, такие как онтологии [38, 39].

Planteome является уникальным ресурсом для фундаментальных исследователей биологии растений, таких как эволюционные или молекулярные биологи и генетики, а также для селекционеров растений. Содержимое базы данных Planteome по типу биологического объекта и количеству аннотаций содержит десятки миллионов записей [38].

Программный комплекс системы имитационного моделирования AGROTOOL [46], разработанный в лаборатории математического моделирования агроэкосистем Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ) РАН содержит онтологию Про производства растений. В состав AGROTOOL входят [47, 48]: динамическая модель; стационарная база данных (СБД); оперативная база данных; интерфейс пользователя. СБД является хранилищем всех данных, необходимых как для организации компьютерных экспериментов с моделью, так и для оценки её адекватности и точности работы. Упрощённая концептуальная схема БД приведена на рисунке 3.

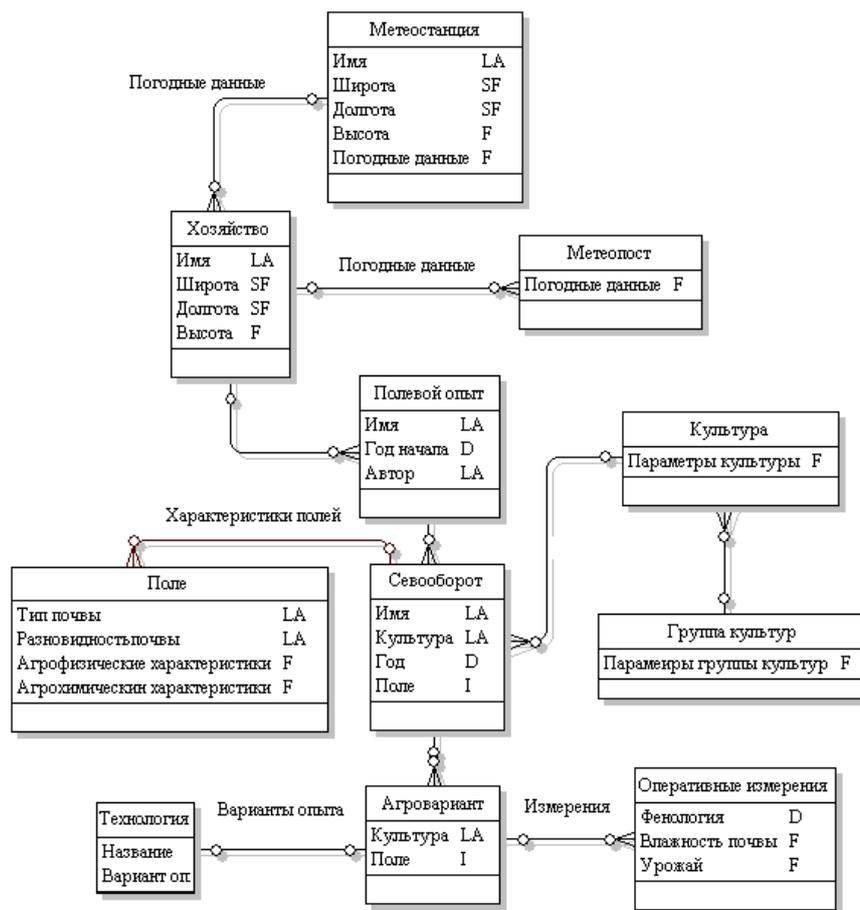


Рисунок 3 - Упрощенная концептуальная модель базы данных AGROTOOL [47]

Компьютерное моделирование агроэкосистем отражает влияние почвенных и погодных условий на продукционный процесс сельскохозяйственных растений. Период дискуссий по поводу методов и подходов к математическому описанию, определяющих процессов в системе «почва - растение – атмосфера», уже позади, а эпоха конкуренции идей сменилась эпохой конкуренции готовых моделей. В качестве лидеров мирового рынка моделирования продукционного процесса растений можно указать голландскую школу моделирования (семейство моделей WOFOST) и американскую школу (семейство CERES) [49, 50].

Компания «Совзонд» выпустила новую версию российской геоинформационной платформы Geoanalitika Platform v.1.1. [51]. Данная версия характеризуется рядом новых функциональных возможностей в части управления и анализа данных, подключения внешних веб-сервисов, оптимизацией производительности сервера [9]. Функционально Geoanalitika Platform включает пять подсистем: управления данными, публикации веб-сервисов, визуализации, администрирования, интеграции.

Agricultural Ontology Service (AOS) стандартизирует сельскохозяйственную терминологию на нескольких языках для использования любыми системами в сельском хозяйстве. Цель AOS состоит в том, чтобы достигнуть большей совместимости между сельскохозяйственными системами и помочь партнёрам сообщества в построении онтологий [44].

В сельскохозяйственном секторе существуют много известных и авторитетных контролируемых словарей, таких как Тезаурус AGROVOC (Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) / Food and Agriculture Organization of the United Nations

(FAO)), Национальный сельскохозяйственный тезаурус библиотеки в США. Однако для семантических инструментов, чтобы быть эффективными в Интернете, есть потребность переоценить традиционный подход «тезауруса» и двинуться в сторону Веб-окружающей среды, в сторону «онтологий» [44].

AGROVOC является многоязычным контролируемым словарем, касающимся всех интересующих областей ФАО, включая еду, пищу, сельское хозяйство, рыболовство, лесоводство и окружающую среду. Словарь состоит из более 32 000 понятий, 40 000 условий на 20 языках. Это совместный проект, скоординированный ФАО и отредактированный сообществом экспертов. AGROVOC сделан доступным как схема понятия RDF/SKOS-XL и издан как связанный набор данных, выровненный с 13 другими словарями. Simple Knowledge Organization System (SKOS) - рекомендация W3C, разработанная для представления тезаурусов, систем классификации, таксономий, систем предметного указателя или любого другого типа структурированного контролируемого словаря.

Concept Server (CS) AOS - первый шаг к «обслуживанию онтологии». CS – это инструмент для структурирования и стандартизации сельскохозяйственной терминологии, которая будет использоваться в информационных системах сельскохозяйственной области. CS является базовой онтологией в области сельского хозяйства, которая может быть отправной точкой для проблемно-ориентированных онтологий. Проект реализуется как система онлайн, к которой можно получить доступ для моделирования, обслуживания и управления сельскохозяйственной терминологией.

Основой CS служит многоязычный тезаурус AGROVOC.

AOS стремится:

- увеличить эффективность и последовательность, с которой многоязычные сельскохозяйственные ресурсы описаны и связаны вместе;
- увеличить функциональность и уместность в доступе к этим ресурсам;
- служить основой для разделения общих описаний, определений и отношений в пределах сельскохозяйственного сообщества.

6 Онтологии задач

Согласно [49] типы онтологии можно классифицировать различными способами, используя такие критерии, как степень абстракции и области применения:

- *верхняя онтология*: понятия, поддерживающие развитие онтологии, метаонтологии;
- *онтология области*: понятия, относящиеся к интересующей области, например, информационным технологиям или компьютерным языкам, или особым отраслям науки;
- *интерфейсная онтология*: понятия, относящиеся к соединению двух дисциплин;
- *онтология процесса*: входы, продукция, ограничения, упорядочивание информации, вовлеченной в бизнес-процессы или процессы разработки.

Почему важно условно разделить онтологии ПрО от онтологии решаемых в этой ПрО задач? Ответ на это вопрос лежит не только в содержательной части этих онтологий, которые отличаются или могут отличаться, но и в исполнительных процедурах, в алгоритмах и программах, которые впоследствии реализуют автоматизацию решения этих задач. Традиционно конструкторы или редакторы онтологий с той или иной степенью успешности фиксируют (описывают и формализуют) «статические» данные и знания ПрО. Исполнительные же системы или планировщики используют построенные онтологии ПрО, но алгоритмически и программно, являясь уже в большей степени системами поддержки принятия решения, описывают «динамические» процессы, происходящие в ПрО, и поэтому в ряде случаев удобнее их формализовывать отдельно в виде программных модулей или подсистем.

В нашем случае основным моделируемым процессом (задачей) является задача распределения (планирования) ресурсов в точном земледелии на основе онтологий ПрО, включающей тезаурус ПрО, онтологии агрокультур, средств борьбы с вредителями, технических сельхозсредств, средств информационной поддержки сельхозпроизводителя (технические средства ДЗЗ: спутники, БПЛА...; программное обеспечение), онтологии сельхозпредприятия (конкретные технические, кадровые, материальные и финансовые ресурсы), а также формализованное описание знаний о процессе в системе «почва-растение-атмосфера».

Так модель AGROTOOL описывает динамику развития гипотетического горизонтально-однородного посева, предусматривая стратификацию по единственной вертикальной координате. В модели заложено математическое описание следующих взаимосвязанных процессов, протекающих в системе «почва-растение-атмосфера» [15]: турбулентность и энерго-массообмен в приземном слое атмосферы; радиационный и тепловой баланс почвы и посева; формирование и таяние снежного покрова; перехват коротковолновой радиации и фотосинтез посева; фенологическое развитие растений; испарение влаги с поверхности почвы и транспирация слоем растительности; динамика почвенного влагозапаса; термический режим почвы, распределение первичных ассимилятов и органогенез; динамика микробной популяции и азотсодержащих соединений в почве; двухпоточная динамика взаимодействия углерода и азота в растении с учетом пулов структурных и запасных веществ; рост растений и формирование урожая.

В модели учитываются следующие виды агротехнологических мероприятий: сев, поливы, внесение азотных удобрений в почву, азотные подкормки «по листу», укосы, уборка урожая.

В качестве входной метеорологической информации модель использует следующие характеристики: минимальная и максимальная за сутки температура воздуха, минимальная (или средняя) за сутки относительная влажность воздуха, количество выпавших за сутки осадков, среднесуточная скорость ветра, коэффициент ослабления солнечной радиации.

Примером решаемой задачи может являться сетевое взаимодействие группировок аэрокосмических систем ДЗЗ для решения задач точного земледелия на основе онтологий ПрО.

7 Выбор инструмента построения онтологий

При явном интересе к онтологическому инжинирингу на сегодня не существует универсальных систем проектирования онтологий. Разработка онтологии растениеводства может стать существенным шагом вперед в формализации знаний в этой области [29].

Редакторами или конструкторами онтологий называют инструментальные программные средства, созданные специально для проектирования, редактирования и анализа онтологий. Основная функция любого редактора онтологий состоит в поддержке процесса формализации знаний и представлении онтологии как спецификации. Количество общедоступных редакторов онтологий превысило 100. Но количество пока не перешло в качество [52, 53].

Функциональность редактора рассматривается как множество сценариев его использования. Базовый набор функций обеспечивает:

- работу с одним или более проектами; импорт из внешнего формата; редактирование мета-данных проекта;
- редактирование онтологии (создание, редактирование, удаление понятий, отношений, аксиом и прочих структурных элементов онтологии, редактирование таксономии).

К дополнительным возможностям редакторов относят поддержку языка запросов, анализ целостности, использование механизма логического вывода, поддержку многопользовательского режима, поддержку удалённого доступа через Интернет.

Инструментальные средства необходимы для ввода и редактирования онтологической информации, выполняя типичные операции над онтологиями:

- выравнивание (alignment) онтологий — установка различного вида соответствий между двумя онтологиями для того, чтобы они могли использовать информацию друг друга;
- отображение (mapping) одной онтологии на другую — нахождение семантических связей между подобными элементами разных онтологий;
- объединение (merging) онтологий — операция, которая по двум онтологиям генерирует третью, объединяющую информацию из первых двух.

Разрабатываемое в НПК «Разумные решения» (Самара) специализированное программное обеспечение «Редактор онтологий» предназначено для создания и хранения базы знаний агропроизводства и базы знаний технологических процессов получения результатов ДЗЗ с КА и БПЛА, а также характеристик типового оборудования КА и БПЛА. БЗ агропроизводства и технологических процессов получения и обработки данных ДЗЗ с КА и БПЛА должны быть представлены в форматах JSON или OWL. «Редактор онтологий» должен:

- обеспечивать взаимодействие с пользователем через web-сервис, регистрацию пользователей, аутентификацию пользователей;
- предоставлять визуальные компоненты для редактирования описания классов, отношений и атрибутов, а также доступ к классам и отношениям баз знаний;
- осуществлять представления БЗ в виде сетевого графа;
- вести учёт нескольких БЗ;
- поддерживать язык запросов SPARQL.

На рисунке 4 представлен ряд экранов разрабатываемого «Редактора онтологий». На рисунке 4А показана сеть базовых концептов, на рисунке 4Б – содержимое базы знаний, а на рисунке 4В - фрагмент семантической сети онтологии.

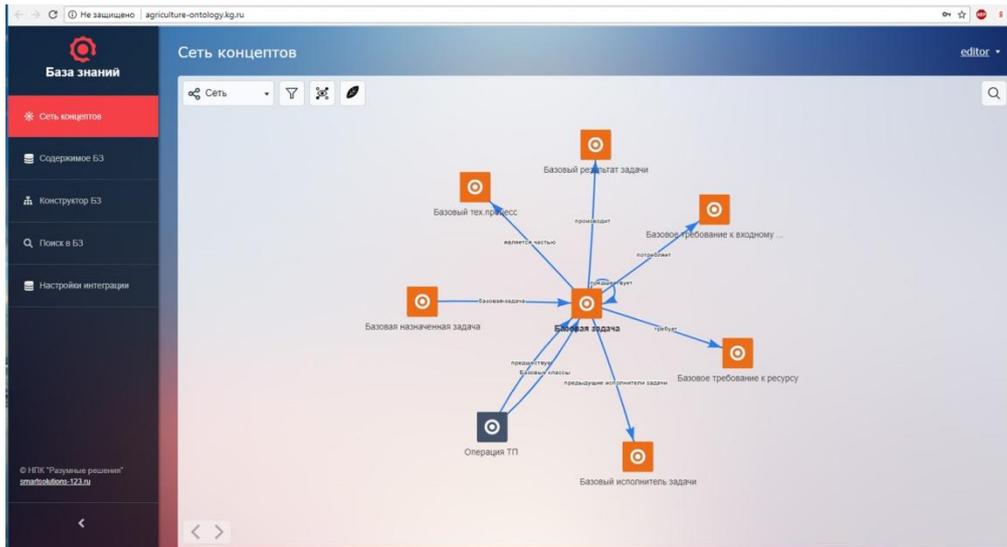
8 Мультиагентные технологии для решения задач целевого планирования группировок аэрокосмических систем ДЗЗ

Методы решения задач календарного планирования относятся к методам дискретной оптимизации и базируются на теории расписаний. Методы дискретной оптимизации можно разбить на 2 группы: точные методы (метод Джонсона, метод ветвей и границ, градиентные методы и т.д.) и приближенные эвристические методы (методы с использованием различных функций или правил предпочтений, статистические методы, например, метод Монте-Карло).

Задача календарного планирования является задачей с «размытым» экстремумом и обычно решается приближёнными методами, чаще всего с использованием различных правил предпочтения.

Применение комбинаторного метода и метода динамического программирования приводит к экспоненциальному росту длительности вычислений. Для использования имитационного моделирования необходим большой объём статистических данных, доступ к которым обычно затруднен. Таким образом, наиболее перспективными можно считать эвристические методы. Применение мультиагентных технологий показало их практическую эффективность в задачах, требующих оперативных решений (и действий) в сложных системах с распределёнными параметрами [54].

Мультиагентные технологии принципиально отличаются тем, что они опираются на объективно существующую реальность бытия, на онтологию, в основе которой не упрощение модели бытия, не искусственно моделируемая иерархичность, а присущая бытию распределённость центров принятия решения.



А)

наименование	Базовые кла.	Атрибуты	Отношения
Род занятия	Сущность	код, число группировок, Utl, Наименование	
Компания	Сущность	ОКПО, адрес, Наименование, Utl	обладает полными видами экономической деятельности, вид коммерческой организации, выращиваемые культуры
Операция ТП	Базовая задача	расход горючего на единицу работы, ит, тарифная ставка за сменную норму, всп., эталонная выработка тр-ра, усл. эт. га, всего, тарифный разряд основной, тарифная ставка за сменную норму, осн, тарифный разряд вспом., затраты труда на весь объем работ (осн), кол-во основных работников, количество единиц требуемой техники, затраты труда на весь объем работ (всп), Наименование, расход горючего всего, Utl, эталонная выработка тр-ра, усл. эт. га за смену, кол-во вспомогательных работников, объем работ, календарный срок, автотранспорт (ткм), электроэнергия (квт*ч), ж.тс (тонн*дни), кол-во неси в объеме работ, ва, или объема работ, сменная норма выработ., порядковый номер	является частью, требует машину, требует технику, требует, производит, потребляет, предшествует
Профессии/должности	Сущность	контрольное число, Наименование, Utl, код	соответствует работам ЕТКС, соответствует категории профессии, имеет занятию (согласно ОКЗ)
Бригада	Сущность	Наименование, Utl	
Работа ЕТКС	Сущность	Наименование, Utl, код	
Вредитель	Сущность	Комментарий, Utl, изображение, Наименование	рекомендуемое средство защиты

Б)



В)

Рисунок 4 – Основные рабочие экраны разрабатываемого «Редактора онтологий»

Мультиагентные технологии опираются на моделирование существующих в этих центрах (а далее просто агентах) и присущих им *потребностей* и *возможностей*, которые реализуются ими с разной степенью успешности. Динамика жизненных процессов, неопределённость многих факторов, влияющих на принятие решений, существенно усложняет механизм поиска согласованных решений. Разрабатываемые базы знаний ПрО, моделирование условий и правил предпочтений, присущих агентам, позволяют в разумные сроки находить рациональные решения, налету учитывать изменения реальной обстановки, моделируя реальную жизненную ситуацию.

Всё вышесказанное позволяет остановить свой выбор на мультиагентных технологиях для решения задач целевого планирования группировок аэрокосмических систем ДЗЗ. Эти технологии хорошо интегрируются с выбранным способом представления знаний об агропроизводстве и технологических процессах получения результатов ДЗЗ с КА и БПЛА в форме онтологий.

Заключение

Представленный в статье краткий обзор работ по точному земледелию и информационной его поддержке для сельхозпроизводителя далеко не исчерпывает все направления, которые бурно развиваются в последние годы (см. например, [55, 56]). Однако для авторов очевидно, что в основе представления знаний в информационных системах и системах принятия решений лежат онтологии [57], которые способны интегрировать разнородные знания на основе единых понятий, применяемых аграриями. Применение мультиагентных технологий, использующих онтологии, позволяет планировать и оперативно распределять ресурсы в реальном времени с учётом динамики событий и меняющихся на практике ситуаций.

Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации – контракт №14.578.21.0230, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0230.

Список источников

- [1] Перспективные информационные технологии дистанционного зондирования Земли: моногр. / под ред. В.А. Сойфера. – Самара: Новая техника, 2015. – 237 с.
- [2] **Антонов, С.А.** Опыт использования космических технологий для нужд сельского хозяйства Ставропольского края / С.А. Антонов // Про космос и вселенную, и нашу жизнь. Научные статьи. 28.09.2017. - <http://sovzondconference.ru/opyt-ispolzovaniya-kosmicheskikh-tehnologij-dlja/>.
- [3] **Седельников, В.П.** Использование орбитальных группировок КА ДЗЗ в интересах картографирования территории России / В.П. Седельников, Е.Л. Лукашевич // Про космос и вселенную, и нашу жизнь. Научные статьи. · 21.07.2017. - <http://sovzondconference.ru/ispolzovanie-orbitalnyh-gruppirovok-ka-dzz-v/>.
- [4] **Личман, Г.И.** Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия / Г.И. Личман, Н.М. Марченко // Про космос и вселенную, и нашу жизнь. Научные статьи. 27.06.2016 - <http://sovzondconference.ru/ispolzovanie-kosmicheskogo-monitoringa-i/>.
- [5] **Брыксин, В.М.** Системы поддержки принятия решений в земледелии: применение данных ДЗЗ, ГИС-технологий и моделирования в точном земледелии / В.М. Брыксин, Л.А. Хворова // Сб. трудов всероссийской конф. по математике "МАК-2015", Барнаул, 1-5 июля 2015: гл. ред. Н.М. Оскорбин. - Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. - С. 176–181. - <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/1880/176-181.pdf?sequence=1>.
- [6] **Быков, В.Л.** Применение данных дистанционного зондирования для информационного обеспечения системы точного земледелия / В.Л. Быков, Л.В. Быков, М.В. Новородская, О.Н. Пушак, С.И. Шерстнева //

- Вестник ОГАУ, 2016. С.146-154 - <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya-dlya-informatsionnogo-obespecheniya-sistemy-tochnogo-zemledeliya>.
- [7] **Жарова, Н.Э.** Автоматическое создание цифровой модели рельефа по материалам «случайной» стереосъемки группировки космических аппаратов типа «Ресурс-П» / Н.Э. Жарова, А.В. Беленов, А.Г. Чибуничев // Геодезия и картография. – 2017. – DOI: 10.22389/0016-7126-2017-920-0-00-00. - <http://geomatika.ru/clauses/avtomaticheskoe-sozdanie-tsifrovoj-modeli-relefa-po-materialam-sluchajnoj-stereosyomki-gruppirovki-kosmicheskikh-apparatov-tipa-resurs-p/>.
- [8] **Стешин, И.С.** Технология создания трехмерной модели местности на основе данных дистанционного зондирования земли с беспилотного летательного аппарата в сервисе Maps Made Easy / И.С. Стешин // Научное обозрение: электрон. журн. – 2017. – № 1. - 6 х. - <https://srjournal.ru/2017/id31/>.
- [9] Точное земледелие – инновация в системе ресурсосберегающего земледелия. Федеральный центр сельскохозяйственного консультирования и переподготовки кадров агропромышленного комплекса - <http://mcs-consult.ru/d/77622/d/tochnoe-zemledelie.pdf>.
- [10] Использование технологий точного земледелия в сельскохозяйственном производстве как один из путей его инновационного развития. Amazone Евротехника. - <http://eurotechnika.ru/content/ispolzovanie>.
- [11] **Завражнов, А.И.** Индустриальные технологии интенсивного садоводства / А.И. Завражнов, В.Ю. Ланцев, А.А. Завражнов // Вестник МичГАУ, № 5, 2013. С.47-51. - http://www.mgau.ru/file_article/5-2013.pdf.
- [12] **Николаев, В.С.** (ред.) Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство М.: Былина, 2000. — 555 с. - <https://www.twirpx.com/file/1141268/>.
- [13] **Свентицкий, И.И.** Естественнонаучная основа всеединства знаний. Эксергетическая теория урожая / И.И. Свентицкий - М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. - 316 с. - http://www.skibr.ru/content/main/img/Ksovet/sov/sii_1-316.pdf.
- [14] **Беленков А.** Миссия возможна: увидел перспективу на контрастах. *АгроМаркет*. 18 ноября 2016- <https://smartfarming.ua/ru-blog/missiya-vozmozhna-uvidel-perspektivu-na-kontrastah>.
- [15] **Полуэктов, Р.А.** Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. - 396 с.
- [16] **Орлова, Л.В.** Разработка информационно-управляющей системы для климатически-оптимизированного сельскохозяйственного производства на принципах экологической и экономической эффективности / Л.В. Орлова, В.А. Виттих, С.Ю. Боровик, П.О. Скобелев, Д.В. Будаев, А.Н. Мочалкин // Труды международной конференции ПУМСС-2017. Самара. – 616 с.: 583-590 с.
- [17] **Орлова, Л.В.** Проблемы, стоящие перед сельхозпроизводством, программные продукты, управленческие решения для экономической и экологической эффективности производства / Л.В. Орлова, П.О. Скобелев, Д.В. Будаев // Труды междунар. конфер. ПУМСС-2017. – Самара: ИПУСС РАН, 2017. – 616 с.: 591-596 с.
- [18] **Козубенко, И.С.** Инновационные системы управления в сельском хозяйстве / И.С. Козубенко, А.В. Алжеев, О.А. Моторин // Труды междунар. конфер. ПУМСС-2017. – Самара: ИПУСС РАН, 2017. – 616 с.: 578-582 с.
- [19] **Ерёменко, В.В.** Современные решения в управлении эффективностью в растениеводстве / В.В. Ерёменко // Труды междунар. конфер. ПУМСС-2017. – Самара: ИПУСС РАН, 2017. – 616 с.: 576-577 с.
- [20] Вторая ежегодная конференция «ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» в Сколково. 16 марта 2017 г. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18837/download.aspx>.
- [21] **Якушев, В.В.** Аспекты построения систем поддержки принятия решений в точном земледелии / В.В. Якушев // Вторая ежегодная конференция «ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» в Сколково. 16 марта 2017 г. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18837/download.aspx>.
- [22] **Алипбеки, О.А.** SMART сельское хозяйство: опыт, проблемы, перспективы / О.А. Алипбеки, С.О. Нукешев // Вторая ежегодная конференция «ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» в Сколково. 16 марта 2017 г. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18838/download.aspx>.
- [23] **Лупян, Е.А.** Новые возможности спутникового сервиса Vega-Pro для решения задач оценки состояния и используемости с/х земель / Е.А. Лупян, А.Ю. Оксюкевич // Вторая ежегодная конференция «ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» в Сколково. 16 марта 2017 г. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18839/download.aspx>.
- [24] **Мышляков, С.Г.** Информатизация сельского хозяйства: тренды и решения от компании «Совзонд» / С.Г. Мышляков // Вторая ежегодная конференция «ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ» в Сколково. 16 марта 2017 г. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18841/download.aspx>.
- [25] Точное земледелие - http://ru-wiki.org/wiki/Точное_земледелие.
- [26] ВЕГА-PRO спутниковый сервис анализа вегетации - <http://pro-vega.ru/>.
- [27] **Новицкий, И.** Точное земледелие: принцип работы и перспективы. Сельхоз портал. Статьи и материалы, Технологии. 28.01.2017 - <https://сельхозпортал.рф/articles/tochnoe-zemledelie/>.
- [28] **Якушев, В.В.** Точное земледелие: теория и практика / В.В. Якушев // - Научная книга. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. - 364 с.

- [29] **Якушев, В.В.** Точное земледелие: практика внедрения и перспективы / В.В. Якушев // Нивы Зауралья №10 (132) ноябрь 2015. - <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/tochnoe-zemledelie-praktika-vnedrenija-i-5993.html>. - <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/11b/yakushev.pdf>.
- [30] **Труфляк Е.В.** Основные элементы системы точного земледелия / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 39 с. - <https://kubsau.ru/upload/foresight/elements.pdf>.
- [31] Сайт технологий точного земледелия TOPCON - <http://agro.topcon.pro/>.
- [32] Системы точного земледелия. - <http://www.myshared.ru/slide/669002/>.
- [33] GPS PRECISION FARMING. - <http://murphysmotors.ie/gps-precision-farming/>.
- [34] Сайт «Российские беспилотники» - <https://russiandrone.ru/catalog/>.
- [35] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
- [36] **Люгер, Д.** Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Люгер. - М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
- [37] Онтология растениеводства - <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/11b/yakushev.pdf>.
- [38] **Cooper L, Meier A., Laporte MA, Elser JL., Mungall C., Sinn BT., Cavaliere D., Carbon S., Dunn NA., Smith B., Qu B., Preece J., Zhang E., Todorovic S., Gkoutos G., Doonan JH, Stevenson DW, Arnaud E., Jaiswal P.** The Planteome database: an integrated resource for reference ontologies, plant genomics and phenomics. *Nucleic Acids Research*, Volume 46, Issue D1, Pages D1168–D1180, <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1152>. 23 November 2017 - <https://academic.oup.com/nar/advance-article/doi/10.1093/nar/gkx1152/4653531>.
- [39] Planteome Release 2.0 February 2017 - http://planteome.org/documents/release_notes/Planteome_Version_2.0_February_2017.
- [40] Repository for the Plant Ontology - <https://github.com/Planteome/plant-ontology>.
- [41] **Стриж, И.Г.** Применение онтологий для изучения физиологии растений / И.Г. Стриж // В сб.: Материалы докладов VII Съезда ОФР России и Международной научной школы «Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий», 2011. Нижний Новгород <https://istina.msu.ru/publications/article/2108571/>.
- [42] **Chrisella Herzog.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food. Nov 6, 2017 - <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food/>.
- [43] **Завражнов, А.И.** Онтологический анализ современных машинных технологий интенсивного садоводства / А.И. Завражнов, А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев // Сельскохозяйственные машины и технологии. Всероссийский НИИ механизации сельского хозяйства (Москва). - 2014. - №3. - С.11-14. - http://vim.ru/upload/iblock/2ff/smit_3_2014_sayt-_2_.pdf.
- [44] Сельскохозяйственное обслуживание онтологии - <http://ru.knowledgr.com/СельскохозяйственноеОбслуживаниеОнтологии>.
- [45] Коммюнике онтологического саммита 2014. Прикладные онтологии в семантической сети и больших данных. Semantic Web and Big Data Meets Applied Ontology - http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2014_Communique. Перевод М.Д. Коровина. Онтология проектирования, 2(12)/2014. - С.101-110.
- [46] Система имитационного моделирования AGROTOOL - <http://agrotool.ru/>.
- [47] Информационное обеспечение модели. Имитационно – моделирующий комплекс AGROTOOL, v.4 АФИ РАН. Лаборатория моделирования агроэкосистем. Р.А. Полуэктов, А.Г.Топаж, Б.И.Бакаленко. С-Петербург, 2007. – 34 с. - <http://agrotool.ru/content/files/iom.pdf>.
- [48] Алгоритмическая структура модели. Имитационно – моделирующий комплекс AGROTOOL, v.4 (Динамическая модель продукционного процесса с.-х. растений) АФИ РАН. Лаборатория моделирования агроэкосистем. Р.А. Полуэктов, В.В. Терлеев. Санкт-Петербург, 2007. – 43 с.
- [49] Онтология - <http://ru.knowledgr.com/00014651/Онтология>.
- [50] AGROVOC - <http://ru.knowledgr.com/02507915/AGROVOC>.
- [51] Российская геоинформационная платформа Geoanalitika Platform. 09.11.2017 - <http://geomatica.ru/clauses/rossijskaya-geoinformatsionnaya-platforma-geoanalitika-platform/>.
- [52] **Боргест, Н.М.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // Онтология проектирования. – 2013. - № 2 (9). - С. 49-55.
- [53] Коммюнике Онтологического Саммита 2017 - Искусственный интеллект, машинное обучение, логический вывод и онтологии / Пер. с англ. М.Д. Коровина // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №2(24). - С. 227-238. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-227-238.
- [54] **Скобелев, П.О.** Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(9). - С. 26-48.
- [55] **Sfiligo E, Heacox L.** Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now. August 12, 2016. - <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>. Eric

Sfiligo .Top 10 technologies in precision agriculture. September 9, 2016. - <https://www.therobotreport.com/top-10-technologies-in-precision-agriculture/>. Топ 10 технологий точного земледелия. 18.12.2016 - <http://aggeek.net/ru/technology/id/top-10-tehnologij-tochnogo-zemledelija-212/>.

[56] **Hopkins M.** 10 New Mobile Apps for Precision Agriculture. December 5, 2017. - http://www.precisionag.com/service-providers/10-new-mobile-apps-for-precision-agriculture/?utm_source=PrecisionAg&utm_medium=website&utm_campaign=callout.

[57] **Смирнов, С.В.** Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. - 2001. - Т. 3, № 1. - С. 62-70.

ONTOLOGY OF PRECISION AGRICULTURE DESIGN: PROBLEM STATE, SOLUTION APPROACHES

N.M. Borgest^{1,2,a}, D.V. Budaev^{3,4,b}, V.V. Travin^{1,c}

¹ Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia

² Institute of Control of Complex Systems, RAS, Samara, Russia

³ Samara State Technical University, Samara, Russia

⁴ Research and Production Company "Network-centric Platforms" Ltd., Samara, Russia

^a borgest@yandex.ru, ^b budaev@smartsolutions-123.ru, ^c travin@kg.ru

Abstract

The development of aerospace and information technologies, along with the successes in agro chemistry, seed production and biology in general, made it possible to raise the efficiency of farming and crop production. The article provides a brief overview of the work in the field of "Precise farming". The issues of information support of Precise farming in the field of rational resource allocation based on remote sensing of the Earth (RS) are considered. Various types of aircraft from space satellites to drones capable of carrying out remote sensing for agricultural producers are considered. The results of monitoring of agricultural lands allow to make local and strategic decisions in an operative mode on a situation that in real life is characterized by great dynamics. The availability of appropriate tools in the form of knowledge and data bases and decision support systems increases the efficiency of farming. Various subject ontologies (ontologies of plants, ontology of plant features, ontology of experimental conditions, etc.) and ontology of tasks solved in the field of Precise farming are considered. The original results of ontological modeling of the investigated area are presented on the basis of the knowledge base designer, developed by the company "Smart Solutions". To solve the problem of resource allocation and work planning, it is proposed to use the multi-agent approach.

Key words: *precise farming, ontology, multi-agent technologies, knowledge base constructor.*

Citation: *Borgest NM, Budaev DV, Travin VV. Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches [In Russian]. Ontology of designing. 2017; 7(4): 423-442. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.*

Acknowledgment

This paper was prepared with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation – contract №14.578.21.0230, project unique ID is RFMEFI57817X0230.

References

- [1] Perspective information technologies of Earth remote sensing [In Russian]. Ed. V.A. Soifer. - Samara: New Engineering, 2015. – 237 p.
- [2] **Antonov SA.** Experience of using space technologies for the needs of agriculture in the Stavropol Territory [In Russian]. About space and the universe, and our life. Science articles. 28.09.2017. - <http://sovzondconference.ru/opyt-ispolzovaniya-kosmicheskikh-tehnologij-dlja/>.
- [3] **Sedelnikov VP, Lukashevich EL.** Use of orbital groupings of the Earth remote sensing satellite in the interests of mapping the territory of Russia [In Russian]. About space and the universe, and our life. Science articles. 21.07.2017. - <http://sovzondconference.ru/ispolzovanie-orbitalnyh-gruppirovok-ka-dzz-v/>.

- [4] **Lichman GI, Marchenko NM.** Use of space monitoring and remote sensing in the system of precision farming [In Russian]. About space and the universe, and our life. Science articles. 27.06.2016 - <http://sovzondconference.ru/ispolzovanie-kosmicheskogo-monitoringa-i/>.
- [5] **Bryksin VM, Khvorova LA.** Decision support systems in agriculture: application of remote sensing data, GIS technologies and modeling in precision agriculture [In Russian]. Collected Works of the All-Russian Mathematics Conference "MAK-2015", Barnaul, July 1-5, 2015; Ed. N.M. Offensive. - Barnaul: Publishing house of Altai State University, 2015. - C. 176–181.
- [6] **Bykov VL, Bykov LV, Novorodskaya MV, Pushchak ON, Sherstneva SI.** Application of remote sensing data for information support of precision agriculture system [In Russian]. Bulletin of Omsk State Agrarian University, 2016. - P.146-154. - <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya-dlya-informatsionnogo-obespecheniya-sistemy-tochnogo-zemledeliya>.
- [7] **Zharova NE, Belenov AV, Chibunichev AG.** Automatic creation of a digital relief model based on the "random" stereoscopic survey of a grouping of space vehicles of the Resurs-P type [In Russian]. Geodesy and cartography. – 2017. – DOI: 10.22389/0016-7126-2017-920-0-00-00. - <http://geomatica.ru/clauses/avtomaticheskoe-sozdanie-tsifrovoy-modeli-relefa-po-materialam-sluchajnoj-stereosyomki-gruppirovki-kosmicheskikh-apparatov-tipa-resurs-p/>.
- [8] **Steshin IS.** The technology of creating a three-dimensional model of terrain based on remote sensing data from an unmanned aerial vehicle in the service of Maps Made Easy [In Russian]. Scientific review: electron. journal. – 2017; 1 - 6 x. - <https://srjournal.ru/2017/id31/>.
- [9] Precise farming is an innovation in a system of resource-saving farming [In Russian]. The Federal Center for Agricultural Consulting and Retraining in the Agro-Industrial Complex - <http://mcx-consult.ru/d/77622/d/tochnoe-zemledelie.pdf>.
- [10] Using the technologies of precision farming in agricultural production as one of the ways of its innovative development [In Russian]. Amazone Eurotechnology. - <http://eurotechnika.ru/content/ispolzovanie>.
- [11] **Zavrashnov AI, Lancev VYu, Zavrashnov AA.** Industrial technologies of intensive gardening [In Russian]. Bulletin of MichAU, 2013; 5: 47-51. - http://www.mgau.ru/file_article/5-2013.pdf.
- [12] **Nikolaev VS. (ed.)** Fundamentals of agricultural technology. Agriculture and plant growing [In Russian]. - Moscow: Bylina, 2000. — 555 p. — ISBN 5-93384-013-0. - <https://www.twirpx.com/file/1141268/>.
- [13] **Sventitsky II.** The scientific basis of the unity of knowledge. The exergy theory of harvest [In Russian]. - Moscow: Russian Scientific Research Institute of Agriculture Electrification, 2015. - 316 p. - http://www.skibr.ru/content/main/img/Ksovet/sov/sii_1-316.pdf.
- [14] **Belenkov A.** A mission is possible: I saw a perspective on contrasts [In Russian]. AgroMarket.18.11.2016- <https://smartfarming.ua/ru-blog/missiya-vozmozhna-uvidel-perspektivu-na-kontrastah>.
- [15] **Poluektov RA, Smolyar EI, Terleev VV, Topaz AG.** Models of the production process of agricultural crops [In Russian]. - SPB: Izd-vo S.-Petersburg. university, 2006. - 396 p.
- [16] **Orlova LV, Wittich VA, Borovik SYu, Skobelev PO, Budaev DV, Mochalkin AN.** Development of information management system for climate-optimized agricultural production on the principles of environmental and economic efficiency [In Russian]. Proceedings of the International Conference Problems of Control and Modeling in Complex Systems 2017. Samara. - 616 p.: 583-590 p.
- [17] **Orlova LV, Skobelev PO, Budayev DV.** Problems facing agricultural production, software products, management solutions for economic and environmental production efficiency [In Russian]. Proceedings of the International Conference Problems of Control and Modeling in Complex Systems 2017. Samara. - 616 p.: 591-596 p.
- [18] **Kozubenko IS, Alzheyev AV, Motorin OA** Innovative management systems in agriculture [In Russian]. Proceedings of the International Conference Problems of Control and Modeling in Complex Systems 2017. Samara. - 616 p.: 578-582 p.
- [19] **Eremenko VV.** Modern solutions in the management of efficiency in crop production [In Russian]. Proceedings of the International Conference Problems of Control and Modeling in Complex Systems 2017. Samara. - 616 p.: 576-577 p.
- [20] The second conference "Precision Farming" in Skolkovo [In Russian]. 16.03.2017. - <http://sk.ru/events/3413.aspx>.
- [21] **Yakushev VV.** Aspects of building decision support systems in precision farming [In Russian]. The second annual conference "Precision farming" in Skolkovo. 16.03.2017- <http://sk.ru/news/m/skmedia/18837/download.aspx>.
- [22] **Alipbeki OA, Nukeshev SO.** SMART agriculture: experience, problems, prospects [In Russian]. The second annual conference "Precision farming" in Skolkovo. 16.03.2017-<http://sk.ru/news/m/skmedia/18838/download.aspx>.
- [23] **Lupyan EA, Oksyukevich AYU.** New capabilities of Vega-Pro satellite service for solving problems of assessing the condition and utilization of agricultural land [In Russian]. The second annual conference "Precision farming" in Skolkovo. 16.03.2017. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18839/download.aspx>.
- [24] **Myshlyakov SG.** Informatization of Agriculture: Trends and Solutions from "Sovzond" [In Russian]. The second conference "Precision Farming" in Skolkovo. 16.03.2017. - <http://sk.ru/news/m/skmedia/18841/download.aspx>.

- [25] Precision farming [In Russian]. - http://ru-wiki.org/wiki/Точное_земледелие.
- [26] VEGA -PRO satellite vegetation analysis service [In Russian]. - <http://pro-vega.ru/>.
- [27] **Novitsky I.** Precise farming: the principle of work and prospects [In Russian]. Agricultural portal. Articles and materials, Technologies. 28.01.2017 - <https://сельхозпортал.рф/articles/tochnoe-zemledelie/>.
- [28] **Yakushev VV.** Precise farming: theory and practice ” [In Russian]. The scientific book. SPb.: AFI, 2016. - 364 p.
- [29] **Yakushev VV.** Precise farming: the practice of implementation and prospects [In Russian]. Niva Zauralye №10 (132) November 2015. - <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/tochnoe-zemledelie-praktika-vnedrenija-i-5993.html>. - <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/11b/yakushev.pdf>.
- [30] **Truflyak EV.** The basic elements of the system of precise farming [In Russian]. - Krasnodar: KubGAU, 2016. - 39 p. - <https://kubsau.ru/upload/foresight/elements.pdf>.
- [31] Website precision farming technology TOPCON [In Russian]. - <http://agro.topcon.pro/>.
- [32] Precision Farming Systems [In Russian]. - <http://www.myshared.ru/slide/669002/>.
- [33] GPS PRECISION FARMING. - <http://murphymotors.ie/gps-precision-farming/>.
- [34] The site "Russian drones" [In Russian]. - <https://russiandrone.ru/catalog/>.
- [35] **Gavrilova TA, Khoroshevsky VF.** Knowledge bases of intellectual systems [In Russian]. - St. Petersburg: Peter, 2000. - 384 p.
- [36] **Luger D.** Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems [In Russian]- Moscow: Williams, 2003. - 864 p.
- [37] Ontology of plant growing [In Russian] - <http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/11b/yakushev.pdf>.
- [38] **Cooper L, Meier A., Laporte MA, Elser JL., Mungall C., Sinn BT., Cavaliere D., Carbon S., Dunn NA., Smith B., Qu B., Preece J., Zhang E., Todorovic S., Gkoutos G., Doonan JH, Stevenson DW, Arnaud E., Jaiswal P.** The Planteome database: an integrated resource for reference ontologies, plant genomics and phenomics. *Nucleic Acids Research*, Volume 46(D1): D1168–D1180, <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1152>. 23 November 2017 - <https://academic.oup.com/nar/advance-article/doi/10.1093/nar/gkx1152/4653531>.
- [39] Planteome Release 2.0 February 2017 - http://planteome.org/documents/release_notes/Planteome_Version_2.0_February_2017.
- [40] Repository for the Plant Ontology - <https://github.com/Planteome/plant-ontology>.
- [41] **Strizh IG.** Application of ontologies for the study of plant physiology [In Russian]. Proceedings of the VII Congress of the Russian Federation of Forests and the International Scientific School "Plant Physiology - the Fundamental Basis of Ecology and Innovative Biotechnologies", 2011. Nizhny Novgorod - <https://istina.msu.ru/publications/article/2108571/>.
- [42] **Herzog Ch.** Artificial intelligence and precision agriculture is changing the future of food. Nov 6, 2017 - <http://whitehatmag.com/editions/2017-fall/artificial-intelligence-precision-agriculture-changing-future-food/>.
- [43] **Zavrazhnov AI, Lancev VYu, Zavrazhnov AA.** Ontological Analysis of Modern Machine Technologies of Intensive Horticulture [In Russian]. Agricultural Machines and Technologies. All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization (Moscow). 2014; 3: 11-14 - http://vim.ru/upload/iblock/2ff/smit_3_2014_sayt-2_.pdf.
- [44] Agricultural ontology service [In Russian]. - <http://ru.knowledgr.com/СельскохозяйственноеОбслуживаниеОнтологии>.
- [45] Ontology Summit 2014 Communiqué. Semantic Web and Big Data Meets Applied Ontology - http://ontology.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2014_Communique.
- [46] Simulation system AGROTOOL [In Russian]. - <http://agrotool.ru/>.
- [47] Information support of the model [In Russian]. Simulation-modeling complex AGROTOOL, v.4 Russian Academy of Agricultural Sciences. Agrophysical Research Institute. Laboratory of agroecosystem modeling. RA Poluektov, AG Topazh, BI Bakalenko. St. Petersburg, 2007. - 34 p. - <http://agrotool.ru/content/files/iom.pdf>.
- [48] Algorithmic structure of the model [In Russian]. Simulation-modeling complex AGROTOOL, v.4 (Dynamic model of the production process of agricultural plants) Russian Academy of Agricultural Sciences. Agrophysical Research Institute. Laboratory of agroecosystem modeling. RA Poluektov, VV Terleev. St. Petersburg, 2007. - 43 p.
- [49] Ontology [In Russian]. - <http://ru.knowledgr.com/00014651/Онтология>.
- [50] AGROVOC [In Russian]. - <http://ru.knowledgr.com/02507915/AGROVOC>.
- [51] Russian Geoinformation Platform Geoanalitika Platform [In Russian]. 09.11.2017 - <http://geomatica.ru/clauses/rossijskaya-geoinformatsionnaya-platforma-geoanalitika-platform/>.
- [52] **Borgest NM, Korovin MD.** Ontologies: current state, overview [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2: 49-55.
- [53] Ontology Summit 2017 Communiqué - AI, Learning, Reasoning and Ontologies - https://s3.amazonaws.com/ontologyforum/OntologySummit2017/Communique/OntologySummit2017Communique_v8.pdf.
- [54] **Skobelev PO.** Situation-driven decision making and multi-agent technology: finding solutions in dialogue [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 2: 26-48.

- [55] *Sfiligo E, Heacox L.* Top 10 Technologies In Precision Agriculture Right Now. August 12, 2016. - <http://www.precisionag.com/systems-management/top-10-technologies-in-precision-agriculture-right-now/>. Eric Sfiligo .Top 10 technologies in precision agriculture. September 9, 2016. - <https://www.therobotreport.com/top-10-technologies-in-precision-agriculture/>. Топ 10 технологий точного земледелия. 18.12.2016 - <http://aggeek.net/ru/technology/id/top-10-tehnologij-tochnogo-zemledelija-212/>.
- [56] *Hopkins M.* 10 New Mobile Apps for Precision Agriculture. December 5, 2017. - http://www.precisionag.com/service-providers/10-new-mobile-apps-for-precision-agriculture/?utm_source=PrecisionAg&utm_medium=website&utm_campaign=callout.
- [57] *Smirnov SV.* Ontological analysis of modeling domain [In Russian]. Bulletin of the Samara Scientific Center of RAS, 2001. 3(1): 62-70.

Сведения об авторах



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

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Director of

«New Engineering» publishing house, Senior Research worker at ICCS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, co-author of more 200 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.



Будаев Денис Сергеевич, 1982 г. рождения. Окончил факультет информационных систем и технологий Самарского государственного архитектурно-строительного университета в 2005 г. Руководитель проектов в компании НПК "Сетецентрические платформы". В списке научных трудов более 20 работ в области проектирования и разработки интеллектуальных информационных систем, компьютерного моделирования, создания систем поддержки принятия решений для различных предметных областей. Непосредственный разработчик и соавтор ряда прототипов и информационных систем, на которые получены свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Budaev Denis Sergeevich (b. 1982). Graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Samara State University of Architecture and Civil Engineering in 2005. Project Manager in "Network-centric Platforms" company. List of scientific papers includes more than

20 works in the field of design and development of intelligent information systems, computer modeling, decision support systems for different subject areas. Co-author and developer of several prototypes and information systems, which received certificates of official registration of the computer program.



Травин Виталий Сергеевич, 1985 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва в 2008 г. Инженер научно-исследовательской лаборатории интеллектуальных аэрокосмических систем. Область научных интересов – разработка интеллектуальных систем на базе мультиагентных технологий и онтологий. В списке научных трудов более 10 научных статей в области создания интеллектуальных систем.

Travin Vitaliy Sergeevich (b. 1985). Graduated from the Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev in 1975. Engineer of the Research Laboratory of Intelligent Aerospace Systems. The field of scientific interests is the development of intelligent systems based on multi-agent technologies and ontologies. In the list of scientific works more than 10 scientific articles in the field of creation of intellectual systems.

УДК 004.682

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТУПА К ДАННЫМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

П.А. Ломов¹, А.Г. Олейник²

*Институт информатики и математического моделирования технологических процессов
Кольского научного центра РАН, Анатиты, Мурманская область, Россия*
¹lomov@iimm.ru, ²oleynik@iimm.ru

Аннотация

Доступ к данным на основе онтологий - один из известных подходов к построению систем, основанных на знаниях. Он подразумевает комбинирование онтологии, представляющей понятийную систему предметной области, и реляционной базы данных, используемой для хранения данных, соответствующих заданным в онтологии понятиям. При этом онтология используется в качестве основы для формирования пользовательских запросов, а база данных - для получения результатов их выполнения. В статье предложена технология повышения производительности выполнения запросов к таким системам за счёт предварительной подготовки базы данных с учётом того, что применяемая онтология разработана с использованием онтологических паттернов содержания. Данные паттерны представляют собой небольшие целостные фрагменты онтологии, формализующие обобщённые ситуации предметной области (например, участие в событии, исполнении роли, наличие частей у объекта и др.). Новизну данной технологии определяет возможность ее применения для целого класса онтологий, основанных на онтологических паттернах. Рассматривается общий принцип работы системы с доступом к данным на основе онтологий. Приведено описание предлагаемой технологии, а также её реализация на примере конкретной онтологии и экспериментальная оценка полученных результатов.

Ключевые слова: онтология, онтологические паттерны, реляционные базы данных, паттерны онтологического проектирования, SPARQL, OBDA.

Цитирование: Ломов, Л.А. Технология применения паттернов онтологического проектирования для оптимизации выполнения запросов в системах обеспечения доступа к данным на основе онтологий / П.А. Ломов, А.Г. Олейник // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №4(26). – С. 443-452. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-443-452.

Введение

В последние десятилетия для структурирования, формализации и унификации представления знаний с целью их многократного и гибкого использования в информационных системах применяются онтологии. Как отмечается, в частности, в работе [1], термин «онтология» впервые появился в работе Томаса Грубера [2], в которой рассматривались различные аспекты взаимодействия интеллектуальных систем между собой и с человеком. В настоящее время под онтологией понимается описание декларативных знаний, сделанное на формальном языке и снабженное некоторой классификацией специфицируемых знаний, позволяющей человеку удобно воспринимать их [1]. В качестве средств описания онтологий широкое распространение получили RDF (*Resource Description Framework*) и OWL (*Web Ontology Language*). RDF позволяет описывать онтологию в виде набора триплетов вида: «субъект-свойство-объект». OWL обеспечивает большие выразительные возможности и, вместе с тем,

обладает формальной разрешимостью. Это предоставляет возможности логического вывода на онтологиях, описанных с помощью OWL. OWL-онтология представляет систему логических выражений, формально определяющих семантику терминов предметной области (ПрО). На данный момент существующая вторая версия OWL определяет три профиля языка OWL 2 EL, OWL 2 QL, OWL 2 RL, которые задают ограничения на языковые конструкции для обеспечения эффективности логического вывода для разных типов онтологий и задач.

Основным преимуществом применения онтологии в качестве основы для хранения знаний является формальное описание ПрО в виде набора выражений, включающих понятия и предметные отношения. Это является более естественным для пользователя, так как напоминает обычный тезаурус, представляющий понятийную систему ПрО. Реляционные базы данных, в свою очередь, ориентированы главным образом на эффективное хранение и получение данных, поэтому их структура более специфична, и работа с ней потребует от пользователя особых знаний и навыков.

Также важным отличием онтологии является более простое добавление новых знаний, которые должны быть представлены в виде логических выражений, непротиворечащих уже имеющимся в онтологии. В отношении базы данных в этом случае помимо согласования предметной семантики может потребоваться внесение изменений в структуру реляционных таблиц. Это может быть достаточно затруднительно для пользователя и потребует привлечения специалиста по реляционным базам данных.

При организации хранилища знаний преимуществом онтологического подхода также является возможность логического анализа онтологии с помощью машины вывода для получения новых знаний и выявления противоречий.

Основным недостатком применения онтологий в качестве основ информационно-аналитических систем является меньшая, чем при использовании реляционных баз данных, производительность при выполнении запросов. Это является платой за предлагаемые онтологиями выразительные возможности и отсутствие «жесткой» схемы данных.

Воспользоваться преимуществами обоих подходов можно в рамках систем обеспечения доступа к данным на основе онтологий (*Ontology-based data access, OBDA*) [3]. Такие системы предполагают совместное применение онтологии, представляющей понятийную систему ПрО, и базы данных, хранящей конкретные данные. В этом случае запрос формулируется с использованием онтологии, а затем транслируется в запрос к базе данных и выполняется. Это позволяет обеспечить скорость выполнения онтологического запроса, которая сопоставима со скоростью выполнения запроса в рамках традиционного подхода с применением только базы данных. Еще более повысить производительность можно за счет предварительного построения индексов таблиц базы данных. Однако формирование эффективных индексов требует априорного знания перечня запросов, которые будут выполняться над базой данных. В настоящей работе предлагается проводить индексацию базы данных, используемой в рамках OBDA системы, с учётом онтологических паттернов содержания (*Content ontology Design Pattern, CDP*) [4, 5], на основе которых была создана онтология. Предполагается, что это позволит еще более повысить производительность выполнения запросов к онтологии в информационной системе.

Статья структурирована следующим образом: в разделе 1 рассматривается принцип работы OBDA систем; в разделе 2 рассматриваются понятие CDP и их применение для разработки конкретной онтологии; в разделе 3 описывается реализация системы OBDA и предлагаемый способ индексации применяемой базы данных, а также проводится экспериментальная оценка его эффективности; в заключении сформулированы основные результаты работы.

1 Принцип работы OBDA систем

В существующих OBDA системах, как правило, применяются онтологии, описанные с помощью OWL. Онтология в этом случае предоставляет словарь, который используется для формулировки запроса в терминах ПрО. Обычно OWL-онтология состоит из логических выражений (OWL-аксиом) двух типов: Tbox и Abox. Выражения Tbox описывают интенционал понятий ПрО - классы (концепты) и отношения между ними, выражения Abox представляют экстенционал понятий - конкретные экземпляры классов онтологии. В случае применения в рамках OBDA-систем онтология содержит только выражения Tbox. Выражения Abox генерируются из результатов выполнения SQL-запроса к базе данных. Процесс генерации, как и переписывание исходного запроса к онтологии (SPARQL-запроса) в SQL-запрос, осуществляется на основе заданной схемы отображения (*мэппинга*), определяющей соответствие между элементами схемы базы данных и Tbox онтологии.

Таким образом, основная работа при организации доступа к содержимому базы данных на основе онтологии заключается в определении соответствующей схемы мэппинга, выполняемом полуавтоматически или вручную инженером по знаниям.

Заметим также, что на этапе переписывания онтологического запроса, сформулированного на языке SPARQL, в SQL-запрос производится его логический анализ с учетом онтологии, что позволяет расширить его новыми фрагментами, которые логически следуют из его исходного варианта. Например, в случае запроса на выборку экземпляров некоторого класса A при перезаписи в него будут добавлены фрагменты на выборку экземпляров классов, отнесенных в онтологии к подклассам A.

Данный подход позволяет представить содержимое источника данных на концептуальном уровне, предоставить пользователю привычный словарь для формирования запросов, расширить запрос за счет его сопоставления с заданной онтологией, а также адресовать исходный запрос к нескольким гетерогенным источникам данных. При этом будет гарантирована достаточно высокая скорость выполнения запроса, так как этим будет заниматься уже реляционная система управления базой данных (СУБД).

Недостатком данного подхода являются некоторые ограничения на выразительность языка описания онтологии по сравнению с подходом, предполагающим применение только онтологии и RDF-репозитория (программного средства для хранения онтологии и выполнения запросов к ней). Это необходимо для того, чтобы гарантировать приемлемую сложность перезаписи исходного запроса в запросы первого порядка (*first order rewriting*) [6]. Поэтому язык онтологий, применяемых в рамках OBDA-систем – OWL 2 QL, уступает в выразительности языку, применяемому при использовании RDF-репозитория – OWL 2 RL. Однако для решения большинства практических задач такой ограниченной выразительности вполне достаточно.

2 Использование онтологических паттернов для разработки онтологии интегрированного пространства знаний

Разрабатываемая онтология [7] используется в рамках формирования интегрированного пространства знаний (ИПЗ) для информационно-аналитической поддержки научных исследований и разработок по различным направлениям деятельности научного центра. Данная онтология включает систему понятий, описывающих процесс научного исследования, его участников, а также связанные с ним сущности: объект исследования, план, используемый метод, полученный результат и т.д.

Рассмотрим общую структуру разработанной онтологии ИПЗ, более подробно представленной в работе [8], и ее применение для организации OBDA. Данная онтология состоит из

нескольких модулей, определенных в соответствии с уровнем абстракции их понятий и функционального назначения их содержимого. Каждый модуль представляет собой файл, содержащий отдельную онтологию, описанную с помощью OWL. Онтология ИПЗ образуется путем импорта данных модулей (рисунок 1).

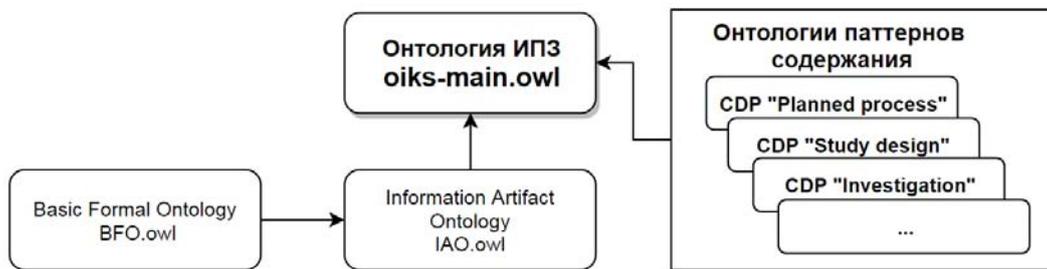


Рисунок 1 – Модульная структура онтологии интегрированного пространства знаний

В качестве основы онтологии ИПЗ используется онтология информационных артефактов (*Information Artifact Ontology*, IAO) [9]. Она, в свою очередь, является расширением одной из распространённых онтологий верхнего уровня - базовой формальной онтологии (*Basic Formal Ontology*, BFO) [10]. Элементы из BFO используются для описания абстрактных инвариантных к ПрО объектов, процессов и явлений. Элементы IAO ориентированы на представление процессов получения информации, их участников, а также информационных источников и носителей. При этом они не только образуют понятийную систему, но и включают в себе правильные с точки зрения онтологии IAO приемы представления знаний ПрО.

Главной частью онтологии ИПЗ является набор онтологических паттернов содержания. Каждый такой паттерн представляется в виде мини-онтологии в отдельном файле и решает одну задачу онтологического моделирования, при этом в нем используются понятия и отношения из IAO. Применение паттернов является основой XD-методологии (*eXtreme Design methodology*) [11] разработки онтологий. Сегментация онтологии на отдельные паттерны позволяет избавить пользователя от манипуляций со всей ее понятийной системой. Кроме этого, как подчеркивают авторы XD-методологии, это позволяет обеспечить качество разрабатываемой онтологии, так как каждый паттерн является проверенным решением, доказавшим свою эффективность.

Для представления понятий ПрО пользователь выполняет подбор подходящего паттерна содержания из разработанного набора и последующую специализацию выбранного паттерна путем определения наследников его элементов. Подбор осуществляется на основе набора квалификационных вопросов, сопряженных с каждым паттерном. Они формулируются на естественном языке и указывают, какую информацию можно получить с помощью онтологии, содержащей данный паттерн.

В качестве примера рассмотрим паттерн «Спецификация исследования» (*Investigation specification*). UML-схема его классов и отношений представлена на рисунке 2.

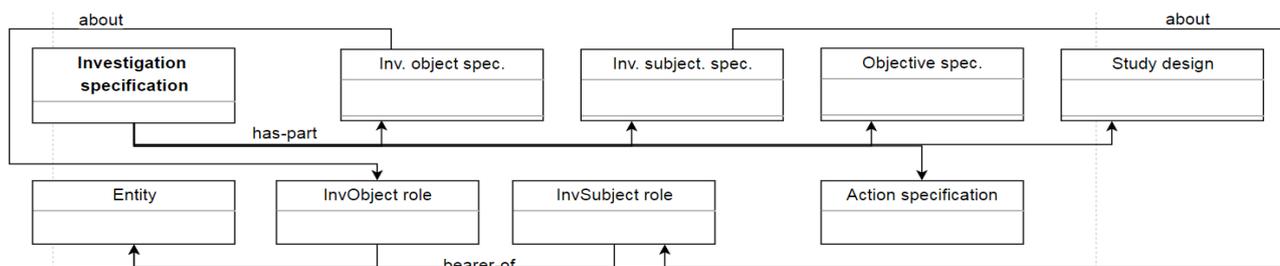


Рисунок 2 – UML-схема паттерна содержания «Спецификация исследования»

Данный паттерн позволяет определить части спецификации исследования: описание цели исследования (*Objective specification*), действий (*Action specification*), объекта (*Investigation object specification*) и предмета (*Investigation subject specification*) исследования и применяемого метода (*Study design*).

Для данного паттерна были определены следующие квалификационные вопросы:

- Какой метод планировалось применять для исследования данного объекта?
- Каковы цели/ход/метод исследования?
- Какие исследования планировались о данной сущности?
- В каких исследованиях планировалось применять данный метод/преследовать данную цель?

3 Индексации базы данных OBDA-системы на основе использованных онтологических паттернов

В качестве программной системы для реализации подхода OBDA был использован Ontop [12]. Данное программное средство является свободно распространяемым и открытым, разрабатывается на основе солидного научного базиса, реализует доступ к содержимому базы данных с использованием техники переписывания запроса и поддерживает распространенные СУБД, такие как PostgreSQL, MySQL, Oracle.

Для применения онтологии ИПЗ в рамках OBDA системы для каждого из включенных в нее онтологических паттернов был определен фрагмент схемы базы данных. Принцип соотнесения элементов онтологии и схемы данных соответствует рекомендациям консорциума W3C [13]. На рисунке 3 представлен фрагмент схемы, соответствующий рассмотренному ранее паттерну «Спецификация исследования».

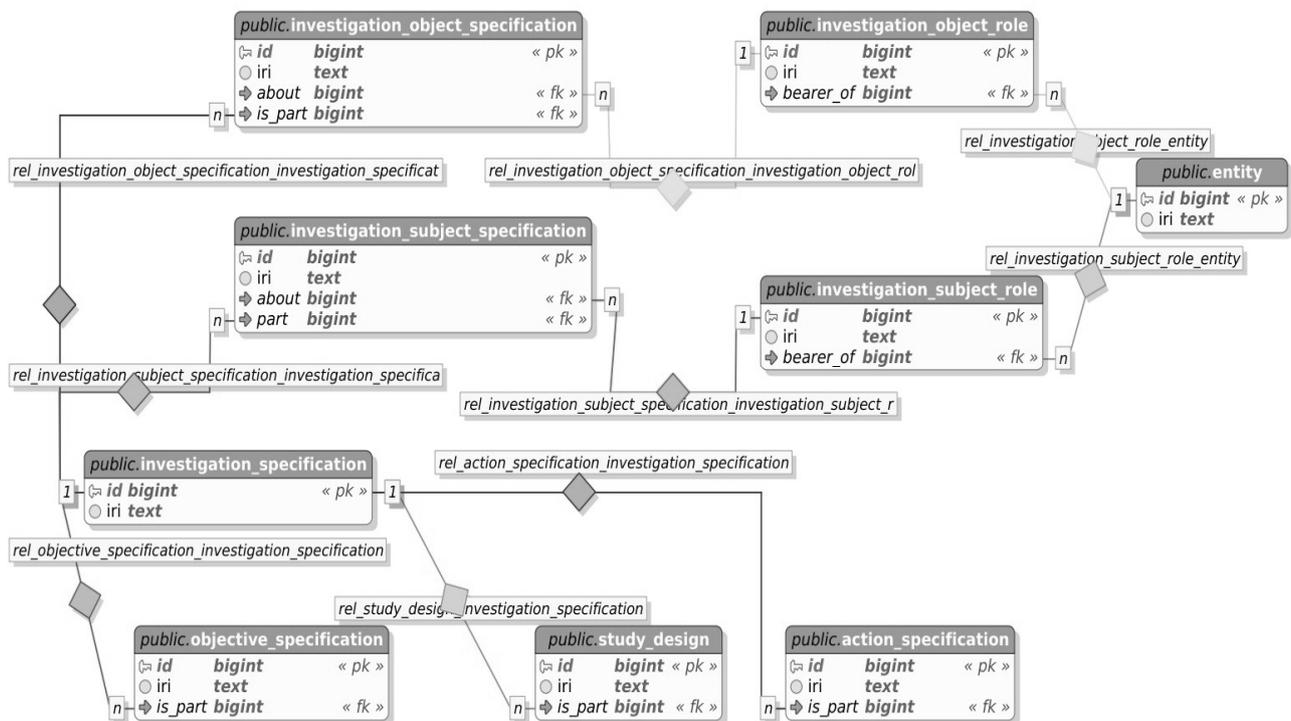


Рисунок 3 - UML схема фрагмента схемы базы данных для паттерна содержания «Спецификация исследования»

Для каждого паттерна был разработан набор правил мэппинга в формате Ontop для переписывания исходного запроса. Каждое правило соответствует одной таблице реляционной базы данных и включает компоненты: *source* – SQL-запрос и *target* – множество шаблонов для генерации выражений Abox из результатов выполнения SQL-запроса.

В качестве примера рассмотрим правило мэппинга для таблицы *Study design*, связанной по внешнему ключу с таблицей *Investigation specification*:

```
mappingId [study_design]
target    :study_design-{id} a      obo:study_design;
          :study_design-{id} obo:is-part-of :investigation-specification-{is_part}.
source    select "id", "is_part" from "public"."study_design"
```

Данное правило определяет возможность генерации двух выражений из результатов выполнения SQL-запроса: «нечто» - «является экземпляром класса» - «study_design» и «нечто» - «является частью» - «study_design». Заметим, что мэппинг используется системой Ontomap не только для генерации «ответа», но и при переписывании исходного SPARQL-запроса. В этом случае, исходя из использованных в нем шаблонов Abox выражений (из секций *target*), подбираются соответствующие SQL-запросы (из секций *source*) для компоновки финального SQL-запроса.

Эффективным способом увеличения производительности выполнения SQL-запросов является построение индексов для таблиц базы данных. Обычно индексы определяются лишь на основе некоторых полей таблиц и/или их комбинаций, исходя из структур предполагаемых запросов. В нашем случае, ввиду применения онтологических паттернов при разработке онтологии, имеет смысл проводить индексацию на основе их квалификационных вопросов. Основанием для этого служит предположение о том, что в процессе эксплуатации в большинстве случаев пользователя будут интересовать ответы именно на них.

Рассмотрим формирование индексов на основе квалификационного вопроса: «Какой метод планировалось применять для исследования данного объекта?» для паттерна «Спецификация исследования». Соответствующий данному вопросу SPARQL-запрос к тестовому набору данных будет выглядеть следующим образом:

```
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema/>
PREFIX proc: <http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-process#>
PREFIX spec: <http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-specification#>
PREFIX obo: <http://purl.obolibrary.org/obo/>
PREFIX inv-proc: <http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-process#>
select ?studydesign where
{
?studydesign a obo:study-design.
?studydesign obo:is-part-of ?invSpec.
?invSpec obo:has-part ?objRoleSpec.
?objRoleSpec a spec:investigation-object-specification.
?objRoleSpec obo:about ?objectRole.
?objectRole a inv-proc:investigation-object-role.
?objectRole obo:role-of <http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-specification#entity-30>.
}
```

В результате выполнения данного запроса переменной *?studydesign* будет присвоено значение - идентификатор искомого метода исследования, который планировалось применять

для изучения объекта с идентификатором <http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-specification#entity-30>.

В результате переписывания Ontop сформирует следующий SQL-запрос к СУБД:

```
SELECT
  1 AS "studydesignQuestType",
  NULL AS "studydesignLang",
  ('http://www.iimm.ru/ontologies/cdp/investigation-specification#study_design-' ||
  REPLACE(...) AS "studydesign"
FROM
  "public"."study_design" QVIEW1, "public"."investigation_object_specification"
QVIEW2,
  "public"."investigation_object_role" QVIEW3
WHERE
  QVIEW1."id" IS NOT NULL AND QVIEW1."is_part" IS NOT NULL AND
  (QVIEW1."is_part" = QVIEW2."is_part") AND
  QVIEW2."id" IS NOT NULL AND QVIEW2."about" IS NOT NULL AND
  (QVIEW2."about" = QVIEW3."id") AND (QVIEW3."bearer_of" = '30')
```

Далее с помощью запросов к СУБД производится построение индексов таблиц из секции “WHERE” приведенного SQL-запроса: «study_design.id», «study_design.is_part», «investigation_object_specification.is_part», «investigation_object_role.about», «investigation_object_role.bearer_of».

Для оценки эффективности использования индекса, построенного на основе квалификационных запросов паттернов, было определено время выполнения серии SPARQL-запросов с помощью системы Ontop над тестовым набором данных до и после его индексации. Объем сгенерированного тестового набора составлял 1 200 000 строк в каждой из таблиц, соответствующих паттерну «Спецификация исследования». В качестве СУБД использовалась PostgreSQL 9.6.3.

В серию входили двадцать SPARQL-запросов, соответствующие по структуре рассмотренному ранее квалификационному вопросу «Какой метод планировалось применять для исследования данного объекта?». До индексации среднее время выполнения одного запроса составило 1700 мс, после проведения индексации — 210 мс.

Заключение

Применение OBDA подхода позволяет представить содержание информационного ресурса на концептуальном уровне и обеспечить для пользователя возможность формулировки запросов с применением знакомых ему терминов ПрО. Наряду с этим на этапе переписывания исходного запроса производится его логический анализ с учетом используемой онтологии и последующее его дополнение на основе выведенных в результате анализа логических выражений. Применение традиционной реляционной СУБД для организации физического хранения данных обеспечивает сравнительно высокую скорость доступа к ним.

Использование технологии паттернов при разработке онтологий для OBDA системы даёт возможность произвести предварительную подготовку базы данных путем формирования эффективных индексов для её таблиц на основе анализа квалификационных вопросов, сформулированных для используемых паттернов. Полученный результат экспериментального испытания предложенной технологии на сгенерированном наборе данных показал существенное увеличение скорости выполнения запроса при использовании предварительной индексации таблиц базы данных.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: грант 16-07-00562, грант 17-47-510298 p_a.

Список источников

- [1] *Ланшин, В.А.* Онтологии в компьютерных системах. - <http://rsdn.org/article/philosophy/what-is-onto.xml>.
 - [2] *Gruber, T.R.*: The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proc. of the Second International Conference. Eds.: J.A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell/ - Morgan Kaufmann, 1991. - P. 601-602.
 - [3] *Когаловский, М.П.* Системы доступа к данным, основанные на онтологиях / М.П. Когаловский // Программирование. - 2012. - №4. - С. 55–77.
 - [4] *Gangemi, A.* Ontology Design Patterns for Semantic Web Content. / A. Gangemi // Proc. of the Fourth International Semantic Web Conference (Galway, Ireland). - Springer, 2005. - P. 262-276.
 - [5] *Ломов, П.А.* Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний // Онтология проектирования. - 2015. – Т. 5, №2(16). - С. 233-245.
 - [6] *Kontchakov, R.* Answering SPARQL queries over databases under OWL 2 QL entailment regime / R. Kontchakov, M. Rezk, M. Rodriguez-Muro, G. Xiao, M. Zakharyashev // ISWC 2014, Part I. LNCS, vol. 8796. - Springer, Heidelberg, 2014 - P. 552–567.
 - [7] Ontology of integrated knowledge space - <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space>.
 - [8] *Олейник, А.Г.* Разработка онтологии интегрированного пространства знаний / А.Г. Олейник, П.А. Ломов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №4(22). - С. 162-172.
 - [9] The Information Artifact Ontology (IAO) - <http://code.google.com/p/information-artifact-ontology>
 - [10] *Grenon, P.* SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology, Spatial Cognition & Computation / P. Grenon, B. Smith // An Interdisciplinary Journal. – 2004. - Vol. 4, No. 1. - P. 69-104.
 - [11] *Blomqvist, E.* Experimenting with eXtreme Design. / E. Blomqvist, V. Presutti, E. Daga, A. Gangemi // In proceedings of EKAW 2010. LNCS 6317. - Springer. Berlin/Heidelberg/New York, 2010.- P. 120-134.
 - [12] *Calvanese, D.* Ontop: Answering SPARQL queries over relational databases / D. Calvanese, B. Cogrel, S. Komla-Ebri, R. Kontchakov, D. Lanti, M. Rezk, M. Rodriguez-Muro, G. Xiao // Semantic Web. - 2017. - Vol. 8, No. 3. - P. 471-487.
 - [13] A Direct Mapping of Relational Data to RDF. W3C Recommendation 27 September 2012 - <https://www.w3.org/TR/rdb-direct-mapping/>.
-

TECHNOLOGY OF APPLICATION OF ONTOLOGY DESIGN PATTERNS FOR ACCELERATION OF QUERIES EXECUTION IN ONTOLOGY BASED DATA ACCESS SYSTEMS

P.A. Lomov¹, A.G. Oleynik²

*Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes,
The Kola Science Center of RAS, Apatity, Murmansk region, Russia*

¹lomov@iimm.ru, ²oleynik@iimm.ru

Abstract

One of the known approaches to the construction of knowledge-based systems is the Ontology-based data access (OBDA) approach, which involves combining an ontology that represents a domain conceptual system and a relational database used to store data that corresponds to the concepts defined in the ontology. In this case, the ontology is used as the basis for the formation of user queries, and the database for obtaining the results of their execution. The article proposes a technology for improving the performance of queries to such systems by preliminarily database preparation, taking into account that the used ontology have been developed with using content ontology design patterns (CDP). These patterns are small ontology fragments that describes generalized situations of the domain (for example, participation in an event, the execution of some role, the parts of an object, etc.). The novelty of this technology determines the possibility of its application for a whole class of ontologies based on ontological patterns. The general principle of ontology-based data access system is considered. The description of the proposed technology, as well as its implementation for a specific ontology, and an experimental evaluation of the obtained results are described.

Key words: *ontology, relational databases, ontological design patterns, SPARQL, OBDA.*

Citation: *Lomov PA, Oleynik AG. Technology of application of ontology design patterns for acceleration of queries execution in ontology based data access systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 443-452. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-443-452.*

Acknowledgment

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research: grant 16-07-00562, grant 17-47-510298 r_a.

References

- [1] **Lapshin VA.** Ontologies in computers systems. The role of ontologies in modern computer science [In Russian]. - <http://rsdn.org/article/philosophy/what-is-onto.xml>.
- [2] **Gruber TR.** The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference. J.A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell - eds. Morgan Kaufmann, 1991, 601-602.
- [3] **Kogalovsky MR.** Data access systems based on ontologies [In Russian] // *Programming*. 2012; 4: 55-77.
- [4] **Gangemi A.** Ontology Design Patterns for Semantic Web Content. Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference, Galway, Ireland, Springer, 2005: 262-276.
- [5] **Lomov PA.** Development of the ontology of integrated knowledge space [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2015; 5(2): 233-245.
- [6] **Kontchakov R, Rezk M, Rodriguez-Muro M, Xiao G, Zakharyashev M.** Answering SPARQL queries over databases under OWL 2 QL entailment regime. ISWC 2014, Part I. LNCS 8796, 2014: 552-567.
- [7] *Ontology of integrated knowledge space* - <https://github.com/palandlom/ontology-of-integrated-knowledge-space>.
- [8] **Oleinik AG, Lomov PA.** Development of the ontology of integrated knowledge space [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 162-172.
- [9] *The Information Artifact Ontology (IAO)* - <http://code.google.com/p/information-artifact-ontology>
- [10] **Grenon P, Smith B.** SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology, Spatial Cognition & Computation. *An Interdisciplinary Journal*. 2004; 4(1): 69-104.
- [11] **Blomqvist E, Presutti V, Daga E, Gangemi A.** Experimenting with eXtreme Design. Proceedings of EKAW 2010, LNCS 6317.: 120-134.

- [12] *Calvanese D, Cogrel B, Komla-Ebri S, Kontchakov R, Lanti D, Rezk M, Rodriguez-Muro M, Xiao G.* Ontop: Answering SPARQL queries over relational databases. *Semantic Web*. 2017; 8(3): 471-487.
- [13] A Direct Mapping of Relational Data to RDF. W3C Recommendation 27 September 2012 - <https://www.w3.org/TR/rdb-direct-mapping/>.
-

Сведения об авторах



Ломов Павел Андреевич, 1984 г.р., окончил Кольский филиал Петрозаводского государственного университета (2006), кандидат технических наук, научный сотрудник Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Области научных интересов: представление знаний, онтологическое моделирование, семантические сети, информационная безопасность.

Lomov Pavel Andreievich, (b.1984) PhD, research associate of Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center RAS. Research interests: knowledge representation, ontological modeling, Semantic web, information security.



Олейник Андрей Григорьевич, 1962 г.р., доктор технических наук, врио директора Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Области научных интересов: компьютерное моделирование сложных систем; информационные системы поддержки принятия решений.

Oleynik Andrey Grigorjevich, (b.1962) D.Sc. (tech), Acting Director, Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center RAS. Research interests: simulation of complex systems; decision support systems; databases.

УДК 004.853, 004.55

РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СЕМАНТИЧЕСКИХ WIKI-ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.В. Рогушина

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

Аннотация

Рассматривается необходимость автоматизированного получения знаний интеллектуальными информационными системами из распределённой среды Web. Оценивается целесообразность использования онтологического анализа для представления таких знаний. Обосновывается необходимость пополнения этих знаний из более динамичных источников информации, предусматривающих автоматизированную обработку информации, к которым относятся семантические Wiki-ресурсы. Такая обработка информации требует разработки модели и методов сопоставления элементов Wiki с элементами онтологии. Проанализированы выразительные возможности технологической среды Semantic MediaWiki, которые могут использоваться для семантической разметки естественно-языковой и мультимедийной информации. Предложен метод семантической разметки Wiki-ресурсов с помощью элементов онтологической модели предметной области, которая базируется на установлении соответствий между элементами формальной модели такой онтологии и элементами Semantic MediaWiki (категориями, семантическими свойствами, ссылками и т.п.). Разработан метод усовершенствования онтологии предметной области на основе Wiki-ресурса, семантически размеченного элементами этой онтологии. Приведена апробация разработанных моделей и методов на примере разработки электронной версии Большой украинской энциклопедии на платформе Semantic MediaWiki. Новизна работы заключается в способе сопоставления элементов онтологической модели предметной области с элементами семантического Wiki-ресурса, а также в методе усовершенствования онтологии предметной области, применяемой для семантической разметки Wiki-ресурса, на основе изменений и дополнений, которые вносятся в этот ресурс.

Ключевые слова: *Wiki-ресурс, онтология, информационный объект, семантическая разметка.*

Цитирование: *Рогушина, Ю.В.* Разработка распределённых интеллектуальных систем на основе онтологического анализа и семантических Wiki-технологий / Ю.В. Рогушина // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 453-472. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-453-472.

Введение

Интеллектуальные информационные системы (ИИС), которые функционируют в открытом распределённом информационном пространстве, постоянно пополняют и обновляют знания, которые поступают из внешней среды. В современных ИИС использование знаний о *предметной области* (ПрО) и методы их обработки играют решающую роль и определяют полезность получаемых результатов. Это в свою очередь обуславливает актуальность исследований, направленных на получение и накопление знаний, решение проблем распознавания, логического вывода новых знаний для поддержки принятия решений, то есть на развитие средств управления знаниями, в том числе – онтологическими. Из-за того, что извлечение знаний из естественно-языковых и мультимедийных информационных ресурсов (ИР) требует много времени и усилий, целесообразно отдавать предпочтение тем ИР, которые уже содержат семантическую разметку и сопровождаются семантическими метаописаниями. Однако в

связи с гетерогенностью информации в Web различные виды таких ИР требуют разработки специфичных средств и методов извлечения знаний.

Поэтому для достижения практически полезных результатов целесообразно ориентироваться на те ИР, которые широко распространены, имеют достаточно высокую выразительную мощность, надёжную реализацию и удобный пользовательский интерфейс. Этим требованиям удовлетворяют семантические Wiki, в частности, ресурсы, созданные на основе Semantic MediaWiki. Эта платформа сегодня широко используется, а сформированные на её основе ИР часто обновляются и быстро увеличиваются. Это обуславливается тем, что Wiki-ресурсы динамично обновляются всем сообществом пользователей, имеют чётко определённую и простую для понимания структуру и технологическую платформу для группового управления знаниями. Но для того, чтобы Wiki-ресурсы можно было использовать в качестве распределённой базы знаний (БЗ), необходимо уже в процессе создания этих ресурсов применять к ним подходы, которые используются в системах управления знаниями.

1 Семантические Wiki-ресурсы

Одним из наиболее распространённых сегодня Wiki-движков является MediaWiki – свободное программное обеспечение с открытым кодом, которое является платформой для создания различных справочников, энциклопедий и каталогов. Эта программа позволяет создавать и редактировать разнообразные Wiki-ресурсы, предоставляет пользователям удобный и интуитивно понятный интерфейс и поддерживает большинство функций, необходимых для коллективной работы. В частности, на этой платформе работает Википедия.

Удобным инструментом классификации знаний, представленных в Wiki-ресурсе, является категоризация страниц. В Wiki для категоризации может использоваться произвольное количество классификаторов, которые позволяют сформировать множество Wiki-страниц, объединённых общими свойствами, и осуществлять поиск статей по классификаторам. Каждая страница Wiki-ресурса может быть отнесена к одной или к нескольким категориям любого из классификаторов (в зависимости от специфики самого классификатора).

По своей сущности Wiki-технология предполагает сотрудничество и сосуществование разных точек зрения без конкурентного вытеснения, поэтому система категорий в любой области может представлять собой не дерево, принадлежащее лишь к одной классификации, а систему древовидных структур, которые накладываются одна на другую. Одна и та же категория или статья может быть отнесена к категориям из разных классификаций, и при категоризации статьи в рамках одной классификационной системы практически не важно, классифицирована она или нет в рамках других систем. Например, Wiki-страница, которая описывает определённую организацию, может быть классифицирована по типу деятельности учреждения («принадлежит к НАНУ»), по её местонахождению («организации города Киева»), по сфере деятельности («научные исследования»). В Wiki могут использоваться как стандартные классификаторы, такие как УДК, так и введённые самими пользователями.

Semantic MediaWiki (SMW) [1] – плагин MediaWiki, который обеспечивает семантизацию информации в Wiki-ресурсе. SMW превращает MediaWiki в семантический ресурс, позволяя автоматически интегрировать информацию из разных Wiki-страниц, генерировать ответы на сложные семантические запросы, строить БЗ и визуализировать их результаты, которые отображают знания относительно семантических свойств и категорий информационных объектов (ИО), выполнять логический вывод и т.п., то есть обрабатывать информацию на уровне знаний. Кроме того, SMW позволяет экспортировать онтологические знания в OWL [2] – языке представления онтологий, разработанного в рамках Semantic Web [3].

В Semantic MediaWiki используются такие дополнительные элементы разметки, как *семантические свойства* и *семантические запросы*. Для того чтобы превратить Wiki-ресурс в распределённую базу знаний, необходимо определить базовые принципы классификации страниц и построить систему категорий и семантических свойств, которые позволяют формализовать и интегрировать знания, которые содержатся на отдельных Wiki-страницах.

Semantic MediaWiki имеет достаточно высокую выразительную мощь, но по сравнению с онтологиями выразительные возможности Semantic MediaWiki значительно слабее и не позволяют, например, задавать отношения между самими семантическими свойствами или определять такие их характеристики, как транзитивность и рефлексивность, которые обеспечивают логический вывод новых знаний из имеющихся.

Из-за того, что встроенные к Semantic MediaWiki средства семантизации не поддерживают анализ и визуализацию этой системы знаний, целесообразно применять внешние средства управления распределёнными знаниями на основе онтологического анализа. Для этого необходимо разработать методы сопоставления семантической разметки Wiki-страниц с элементами онтологий.

Проблема сопоставления онтологий и семантических Wiki-ресурсов возникает в нескольких случаях. Во-первых, при создании семантических Wiki-ресурсов необходимо сначала сформировать набор категорий и семантических свойств. Но встроенные средства Semantic MediaWiki не позволяют ни визуализировать эту информацию, ни оценить её целостность и непротиворечивость. Поэтому целесообразно сначала построить онтологию той ПрО, которая отображается в Semantic MediaWiki, а потом использовать эту онтологию как основу для семантической разметки. Во-вторых, семантически размеченные Wiki-ресурсы намного более динамичны в сравнении с онтологиями – в их усовершенствовании и восстановлении может принимать участие широкий круг пользователей, и потому они могут быть полезны для усовершенствования соответствующей онтологии ПрО.

Чтобы обеспечить ИИС возможностью импортировать, модифицировать и обновлять онтологические знания, которые приобретаются из внешних семантически размеченных Wiki-ресурсов, необходимо разработать методы и средства, которые обеспечивают решение следующих задач:

- построить взаимно-однозначные соответствия между основными элементами онтологии ПрО (классы и подклассы, экземпляры, свойства объектов и данных, их значения) и элементами Semantic MediaWiki (категории, семантические свойства, их значения и связи);
- разработать средства и критерии сопоставления онтологий, которые являются усовершенствованиями одной и той же онтологии ПрО, пополненной знаниями из разных Wiki-ресурсов, которые семантически размечены элементами этой начальной онтологии.

Семантические свойства обеспечивают привязывание данных к Wiki-страницам. Каждое свойство имеет тип, название и значение, кроме того, ему соответствует отдельная Wiki-страница в специальном пространстве имён, которая позволяет задавать тип свойства, определяет его положения в иерархии свойств, а также документирует его использование. Свойства, в отличие от категорий MediaWiki, имеют не только названия, но и значения.

В текст Wiki-страницы семантическое свойство вставляется в формате `[[Имя свойства:Значение свойства]]`. Свойства могут быть разных типов, и именно эти типы определяют операции, которые могут выполняться со значениями свойств, например, сортировка и сравнение. SMW поддерживает 15 типов свойств: *Число*, *Строка*, *Дата*, *Географические координаты* и т.п. Семантические свойства типа «Страница» подобны гиперссылкам между Wiki-статьями, но позволяют определить смысловую нагрузку этих ссылок. Например, для страницы «Украина» связь со страницей «Киев» можно определить свойством «столица».

Для того, чтобы зафиксировать такую связь, достаточно заменить текст *[[Украина]]*, который содержится на странице «Киев», на *[[является столицей::Украина]]*.

Значительный интерес представляет следующее: если в текст шаблона поместить семантическое свойство, то это свойство будут иметь все страницы, которые используют такой шаблон.

В Semantic MediaWiki реализован простой, но мощный язык запросов SMW-QL, что открывает широкие возможности для семантического поиска в Wiki-ресурсах. В то время как семантические свойства и категории позволяют структурировать данные в Wiki, запросы нужны для того, чтобы использовать эту информацию: они помогают Wiki-пользователям и Wiki-администраторам интегрировать нужные сведения.

Язык запросов SMW-QL позволяет отфильтровывать страницы по заданным критериям и выводить на страницу только интересующую пользователя информацию (значения семантических свойств), а не весь контент Wiki-страницы.

Результаты таких запросов позволяют динамично интегрировать актуальную информацию из других Wiki-страниц и отображать её в удобном для пользователя формате – в виде диаграмм, географических карт, таблиц и схем и т.п. При внесении изменений в страницы, из которых извлекаются данные, результаты запросов также автоматически обновляются, обеспечивая непротиворечивость и согласованность данных.

Наиболее часто используются встроенные запросы с функцией *ask*. Её вызов обозначается двойными фигурными скобками, перед именем стоит символ *#*, а после – двоеточие. Сначала передаётся сама строка запроса, который отбирает нужную информацию из Wiki, а потом все параметры запроса, разделённые символами вертикальной черты *|*. Запрос на SMW-QL обычно встраиваются в код Wiki-страницы в следующей форме:

```
{{#ask:Критерии выбора страниц
|?Запрашиваемое свойство
|Другие параметры
}}
```

Функция *ask* имеет три параметра. Первый параметр отбирает из всего множества страниц лишь те страницы, среди которых надо осуществлять поиск. Например, это может быть категория или множество категорий, в которые входит страница, определённые условия, которым должна соответствовать страница. В качестве критериев выбора страниц указываются значения семантических свойств и категорий, которые имеют страницы. Второй параметр определяет, какие именно семантические свойства нужно найти на отобранных страницах. Третий параметр указывает на то, какую информацию нужно предоставить пользователю, и какова форма её представления.

По выразительным возможностям языка встроенных запросов Semantic MediaWiki значительно уступает языку запросов SPARQL [4], но использование SPARQL требует от пользователей значительно больших знаний. В запросах к Semantic MediaWiki могут использоваться категории и семантические свойства, а в запросах к онтологиям – классы и свойства, которые делятся на *object properties* и *data properties*.

Оба языка позволяют выполнять сложные запросы (сортировать, ограничивать, упорядочивать результаты и т.д.), но язык встроенных запросов SMW даёт возможность оперировать только теми данными, которые размещены на одном Wiki-ресурсе: он позволяет работать только со специальными категориями и свойствами самой Semantic MediaWiki, а также категориями и свойствами, которые создали пользователи конкретной Semantic MediaWiki. Язык

SPARQL, наоборот, изначально ориентирован на интероперабельность и позволяет обрабатывать одновременно разные онтологии.

2 Постановка задачи

При разработке интеллектуальных распределённых систем, базирующихся на семантических Wiki-технологиях, предлагается использовать онтологии ПрО в качестве основы для семантической разметки. Это позволяет более чётко формализовать знания ПрО и обеспечивает автоматизированное пополнение такой онтологии в процессе развития Wiki-ресурса. Для этого необходимо разработать средства сопоставления основных элементов Wiki-ресурса и онтологии, а также метод пополнения онтологии знаниями, извлекаемыми из семантически размеченных Wiki-страниц.

3 Онтологическая модель предметной области

Для интероперабельного представления распределённых знаний в ИИС широко применяются онтологии, которые обеспечивают повторное использование знаний [5]. В последние годы онтологии активно развиваются как семантические модели, которые позволяют отображать различные аспекты реального мира [6].

Онтологии базируются на фундаментальном теоретическом базисе дескриптивных логик, для них уже существуют общепринятые стандарты описания, языки и программные средства. Особый интерес представляет использование онтологического анализа как основы для обработки распределённых знаний. В связи с этим значительное количество исследований связано с теоретическим базисом онтологий, их построением, усовершенствованием, с получением знаний из онтологических структур, а также с другими важными аспектами менеджмента онтологий, которые в значительной мере зависят от цели и назначения такого анализа.

Одним из важных направлений таких исследований является интеграция онтологий с другими ИР Web, в частности – с Wiki-ресурсами. Такие свойства Web, как гетерогенность и динамичность, обуславливают ряд проблем, связанных с пополнением, использованием и оценкой онтологий, и вызывают потребность использования более динамических семантических Wiki-ресурсов, на основе которых могут обновляться эти онтологии.

Онтологический анализ позволяет превращать описание представления о внешнем мире в набор терминов и правил их использования, пригодных для машинной обработки. Онтология представляет собой явную спецификацию концептуализации. Её можно рассматривать как БЗ специального вида с семантической информацией о ПрО. Компоненты, из которых складываются конкретные онтологии, зависят от парадигмы представления, но практически все модели онтологий содержат классы и их экземпляры, свойства классов, отношения между классами и экземплярами классов и ограничения на их использование.

В общем случае формальная модель онтологии ПрО – это упорядоченная тройка $O = \langle T, R, F \rangle$, где T – множество понятий ПрО; R – множество отношений между ними; F – множество функций интерпретации понятий и отношений.

В дальнейшем будем использовать следующую формальную модель

$$(1) \quad O = \langle X, R, F, T \rangle$$

Эта модель состоит из следующих элементов:

- $X = X_{cl} \cup X_{ind}$ – множество концептов онтологии, где X_{cl} – множество классов, X_{ind} – множество экземпляров классов, таких, что $\forall a \in X_{ind} \exists A \in X_{cl}, a \in A$;

- $R = r_{ier_cl} \cup \{r_i\} \cup \{p_j\}$ – множество отношений между элементами онтологии, где r_{ier_cl} – иерархическое отношение, которое может устанавливаться между классами онтологии и свойствами классов и характеризуется такими свойствами, как антисимметричность и транзитивность, $r_{ier_cl} : X_{cl} \rightarrow X_{cl}$; $\{r_i\}$ – множество объектных свойств, которые устанавливают отношения между экземплярами классов: $r_i(a, a \in X_{ind}) = b, b \in X_{ind}, r_i : X_{ind} \rightarrow X_{ind}$; $\{p_j\}$ – множество свойств данных, которые устанавливают отношение между экземплярами классов и значениями: $p_j(a, a \in X_{ind}) = t, t \in T, p_j : X_{ind} \rightarrow Const$, такие, что внутри множеств объектных свойств и свойств отношений также могут существовать иерархические отношения $r_{ier_obj}, r_{ier_obj} : \{r_i\} \rightarrow \{r_i\}$ и $r_{ier_data}, r_{ier_data} : \{p_j\} \rightarrow \{p_j\}$;
- F – множество характеристик классов онтологии, экземпляров классов и их свойств, которые могут применяться для логического вывода (например, эквивалентность, отличие, отсутствие пересечения, область определения и область значения);
- T – множество типов данных (например, строка, целое).

Выбор именно такой модели онтологии обуславливается следующими причинами. Во-первых, такая модель имеет достаточную выразительность для решения тех задач, которые рассматриваются в этой работе. Во-вторых, она соответствует интуитивному представлению об онтологиях, которое содержится в пользовательском интерфейсе редактора онтологий Protégé [7] и потому легко объединяется с визуализациями элементов онтологии в этом программном продукте. В-третьих, эта модель довольно легко интегрируется с различными приложениями, которые поддерживают семантическую обработку информации (в частности, с семантическими Wiki-ресурсами).

Как правило, в ИИС различают внутренние и внешние онтологии [8]. Внутренние онтологии создаются разработчиками ИИС и отображают их представление относительно свойств и взаимоотношений основных ИО определённой ПрО. Структура внутренней онтологии и её объём целиком определяются целями создания ИИС и теми функциями, которые она может выполнять в системе. Структура внутренней онтологии остаётся неизменной в процессе функционирования ИИС и может лишь пополняться новыми экземплярами класса или значениями их свойств.

Внешние онтологии импортируются ИИС из внешних информационных источников в процессе работы системы и позволяют динамично возобновлять сведения относительно соответствующей ПрО. Например, такие онтологии могут быть найдены по определённым условиям в репозиториях онтологий или построены путём анализа доступных ИР. Важным свойством внешних онтологий является то, что в процессе работы ИИС для решения одной и той же задачи в разные моменты времени могут применяться разные онтологии. Это объясняется динамичностью информационной среды (это в особенности характерно для ИИС, ориентированных на работу в Web): онтологии в репозитории или внешние ИР могут значительно изменяться независимо от разработчиков и пользователей ИИС.

Такие свойства Web, как гетерогенность и динамичность, обуславливают ряд проблем, связанных с использованием внешних онтологий. В частности, возникает проблема сравнения внешних онтологий, сформированных в разные моменты работы ИИС: если отличия между онтологиями превышают определённую количественную меру, тогда необходимо снова выполнить их обработку.

Рассмотрим некоторые частные случаи внешних онтологий: если внешнюю онтологию можно отнести к одному из таких типов, то это значительно упрощает её обработку и использование.

Таксономия T – это онтология, которая, кроме классов и экземпляров, содержит только отношение «подкласс», иерархически объединяющее классы, и отношения «экземпляр класса». Эта онтология не требует сложных средств обработки, методы её построения не предполагают наличия циклов в классах (каждый класс создаётся как подкласс определённого класса, экземпляр – как экземпляр определённого класса). Её формальная модель является частным случаем модели (1):

$$(2) \quad T = \langle X = X_{cl} \cup X_{ind}, R = \{r_{ier_cl}\}, \emptyset, \emptyset \rangle.$$

Wiki-онтология – это онтология, построенная по семантически размеченному Wiki-ресурсу (набору Wiki-страниц, которые содержат семантическую разметку). Она содержит только те знания, которые можно непосредственно получить из семантической разметки. Поэтому в этой онтологии отсутствуют, например, такие характеристики классов и свойств, как эквивалентность, отсутствие пересечения и т.п. При построении этой онтологии могут возникать неоднозначности, связанные с классификацией экземпляров, которые требуют дополнительной проверки [9].

Её формальная модель также является частным случаем модели (1):

$$(3) \quad T_{wiki} = \langle X, R, \emptyset, T \rangle.$$

В модели (3) множество концептов строится как объединение таких элементов Wiki, как страницы и категории $X = X_{wiki_categ} \cup X_{wiki_page}$, связанные различными видами отношений с $R = \{r_{ier_cl}\} \cup \{r_{link}\} \cup \{r_{sem_prop}\}$, то есть множество классов – это множество категорий Wiki X_{wiki_categ} , между которыми существуют иерархические отношения r_{ier_cl} ; множество экземпляров – множество Wiki-страниц X_{wiki_page} , между которыми существуют ссылка r_{link} и семантические отношения $r_{sem_prop_i}$, $i = \overline{0, m}$; а множество типов данных дополняется специфическим классом – «Wiki-страница». Эта модель может быть усовершенствована с учётом таких элементов Wiki, как шаблоны, формы, специальные страницы и т.п.

4 Формальная модель основных семантических компонентов Semantic MediaWiki

Формальная модель Wiki-ресурса

$$(4) \quad W = \langle P, L \rangle$$

состоит из следующих элементов:

$P = P_{user} \cup P_{categ} \cup P_{template} \cup P_{spec}$ - множества Wiki-страниц, где

P_{user} – множество страниц, созданных пользователями,

P_{categ} – множество страниц, которые описывают категории,

$P_{template}$ – множество страниц, которые описывают шаблоны,

P_{spec} – множество других специальных страниц;

$L = \{ "link" \}$ – множество из одного элемента, который описывает ссылку одной Wiki-страницы ресурса на другую Wiki-страницу того же ресурса (хотя в Wiki-ресурсах предусмотрены и ссылки на другие виды страниц, в рамках данной модели они не учитываются).

Формальная модель семантически обогащённых Wiki-ресурсов является более сложной по сравнению с (4) и расширяет её элементами, связанными с семантическими свойствами:

$$(5) \quad W_s = \langle P_s = P \cup P_{sem_prop} \cup P_{spec}, L_s = L \cup L_{sem_prop} = \{l_i\} \rangle,$$

где P_{sem_prop} – множество страниц, которые описывают семантические свойства Wiki-страниц, некоторые из которых являются семантически определёнными ссылками на другие Wiki-страницы: $P_{sem_prop_page} \subseteq P_{sem_prop}$, а другие связывают страницы со значениями разных типов данных (эти типы данных определяются на страницах семантических свойств).

4.1 Использование онтологий для семантизации Wiki-ресурса

Если на Wiki-ресурсе обрабатываются большие объёмы знаний (например, электронная версия Большой украинской энциклопедии – e-BUE – предусматривает десятки тысяч статей), то возникает потребность в автоматизации этой обработки на основе подходов, методов и средств, которые используются сейчас для менеджмента знаний.

В частности, предлагается использовать методы и инструменты онтологического анализа, рассматривая элементы семантической разметки как классы, экземпляры и отношение онтологии соответствующей ПрО.

Для этого нужно преобразовать элементы онтологии в конструкции Semantic MediaWiki (категории и семантические свойства). На следующем этапе необходимо обеспечить возможность уточнения и усовершенствования начальной онтологии ПрО на основе анализа семантически размеченных Wiki-ресурсов, то есть разработать метод преобразования конструкций Semantic MediaWiki в онтологию, представленную на языке OWL. Далее следует проанализировать полученную онтологию, оценить её свойства и соответствие представлениям пользователя относительно ПрО. Итеративное повторение этих действий должно обеспечить формирование адекватной онтологии ПрО, которую можно использовать в разных ИИС как БЗ.

4.2 Сопоставление онтологий и семантических Wiki-ресурсов

В терминах описанных выше формальных моделей (1) и (5) можно достаточно просто определить некоторые соответствия между элементами онтологии ПрО и элементами страниц Semantic MediaWiki. Часть таких соответствий можно выявлять автоматически, без участия эксперта, но некоторые неоднозначны и требуют дополнительных уточнений. Более детально это описано в [8].

Важно отметить, что знания, содержащиеся в онтологии ПрО и в аналогичном семантическом Wiki-ресурсе, не являются полностью эквивалентными. Semantic MediaWiki не содержит сведений о характеристиках классов и свойств (в частности, об эквивалентности классов и свойств, их пересечении, об их области значения и определения), а в онтологии не отображаются сведения о страницах, использующих одни и те же шаблоны (т.е. описывающих ИО одного типа). Поэтому целесообразно использовать и регулярно синхронизировать оба эти источника знаний о ПрО. При изменении Wiki-ресурса следует усовершенствовать онтологию ПрО, а при изменении онтологии – соответственно вносить изменения в семантическую разметку Wiki-страниц.

5 Усовершенствование онтологии ПрО на основе сведений из семантически размеченных Wiki-ресурсов

Данный метод предназначен для усовершенствования онтологии ПрО, которая использовалась для семантической разметки анализируемого Wiki-ресурса. Основой для этого могут стать зависимости между элементами онтологии и семантическими элементами Wiki-ресурсов, приведенные в таблице 1. Если нужно усовершенствовать какую-либо другую онтологию, то вначале надо выполнить её сопоставление с той онтологией, которая использовалась для разметки.

Таблица 1 – Отображение между основными элементами онтологий и Wiki-ресурсов

Семантические Wiki	Онтология	Из Wiki в онтологию	Из онтологии в Wiki
Категория Wiki	Класс онтологии	Однозначное $P_{categ} \rightarrow X_{cl}$	Многозначное $X_{cl} \rightarrow P_{categ} \cup P_{template}$
Иерархия категорий Wiki	Иерархия классов онтологии	Многозначное	Однозначное
Wiki-страница	Экземпляр класса онтологии	Многозначное $P_{user} \rightarrow X_{ind}$	Однозначное $X_{ind} \rightarrow P_{user}$
Ссылка на Wiki-страницу	Объектное свойство	Взаимно-однозначное $L = \{ "link" \} \rightarrow R$	Взаимно-однозначное $R \rightarrow L = \{ "link" \}$
Семантическое свойство типа «страница»	Объектное свойство онтологии	Взаимно-однозначное $P_{sem_prop_page} \rightarrow \{r_i\}$	Взаимно-однозначное $\{r_i\} \rightarrow P_{sem_prop_page}$
Семантическое свойство любого другого типа	Свойство данных онтологии	Взаимно-однозначное $P_{sem_prop} \rightarrow \{p_i\}$	Взаимно-однозначное $\{p_i\} \rightarrow P_{sem_prop}$
Шаблон	Класс онтологии	Однозначное $P_{template} \rightarrow X_{cl}$	Многозначное $X_{cl} \rightarrow P_{categ} \cup P_{template}$

Если для семантической разметки Wiki-ресурса W_s используются элементы онтологии определённой ПрО O_{Sw_0} , то в дальнейшем контент такого семантически размеченного ресурса W_s может стать базой для усовершенствования именно этой онтологии O_{Sw_0} и построения на его основе новой онтологии O_{Sw_r} . Для этого необходимо применять методы автоматизированного сопоставления элементов онтологии и Wiki-ресурса, а также определить те неоднозначности, в которых такое сопоставление не является взаимно-однозначным, а требует участия человека-эксперта.

Семантический Wiki-ресурс рассматривается как множество *семантически размеченных* естественно-языковых текстов, пригодных для автоматического анализа, например, для поиска сведений, которые интересуют пользователя и связаны с определёнными понятиями ПрО, отображённой в онтологии O_{Sw_0} .

На первом этапе на вход в систему подаются:

- начальная онтология ПрО O_{Sw_0} , которая использовалась для разметки Wiki-ресурса W_s , в которой содержатся наиболее очевидные для пользователя понятия и связи между ними;
- W_u – выбранный пользователем набор семантически размеченных Wiki-страниц, которые характеризуют ПрО, интересующую пользователя, $W_u = \{w_i\}, i = \overline{1, n}, W_u \subseteq W_s$.

Заметим, что множества $O_{S_{w_0}}$ и T не должны быть пустыми.

Расширенная онтология ПрО $O_{S_{w_r}}$ строится в процессе анализа страниц из W_u , выбранных пользователем в соответствии с представлениям о своих информационных потребностях (например, это могут быть все Wiki-страницы, созданные позднее определённой даты; Wiki-страницы определённой категории или Wiki-страницы, отобранные по семантическому запросу). В процессе семантико-синтаксического анализа этих страниц определяются классы онтологии, экземпляры классов и отношения между классами и экземплярами.

Семантические свойства определяют семантику связей между страницами в выбранном множестве и соответствуют объектным свойствам экземпляров класса онтологии, которые отвечают Wiki-страницам.

Алгоритм усовершенствования онтологии выполняется в процессе обработки каждой Wiki-страницы w_i из W_u . При анализе w_i необходимо выполнить следующие действия:

- в онтологии $O_{S_{w_0}}$ найти экземпляр e_i , которая соответствует странице w_i ;
- если e_i не найден, то создать его;
- если w_i относится к категории c_j , $w_i \in c_j$ (то есть страница содержит текст [[категория:: c_j]], но в онтологии $O_{S_{w_0}}$ отсутствует такой класс, тогда надо добавить к онтологии этот класс (после подтверждения пользователя относительно того, что такой класс относится к интересующей его ПрО: следует отметить, что страница может быть отмечена различными категориями, которые не важны для рассматриваемой ПрО, и тогда их можно не добавлять в данную онтологию);
- если w_i относится к категории c_j , $w_i \in c_j$ (то есть страница содержит текст [[категория:: c_j]], а в онтологии $O_{S_{w_0}}$ присутствует такой класс, но экземпляр онтологии, соответствующий Wiki странице w_i , не относится к этому классу онтологии, тогда надо добавить в онтологии связь этого экземпляра с этим классом;
- если Wiki-страница w_i имеет семантическое свойство типа «Страница» со значением из $w_k \in W_u$ (т.е. связана с одной из выбранных Wiki-страниц), тогда соответствующий экземпляр онтологии тоже получает соответствующее объектное свойство со значением соответствующего элемента.

Считается, что в процессе усовершенствования Wiki-ресурса могут создаваться новые Wiki-страницы, изменяться категоризация Wiki-страниц и добавляться новые значения семантических свойств, но сам набор категорий и семантических свойств не изменяется и фиксируется с помощью онтологии ПрО. Таким образом, усовершенствованная онтология может пополняться новыми экземплярами и связями между экземплярами, но её классы и набор объектных свойств не зависят от Wiki-ресурса. Это обеспечивает унификацию в семантической разметке и позволяет предотвратить дублирования в названиях свойств и категорий.

Если возникает потребность в усовершенствовании какой-либо другой онтологии O_1 , отличной от $O_{S_{w_0}}$ (например, другой версии этой же онтологии $O_{S_{w_1}}$), то нужно выполнить следующие операции:

- используя описанный выше метод, по Wiki-ресурсу W_s усовершенствовать онтологию $O_{S_{w_0}}$ и построить онтологию $O_{S_{w_r}}$;

- с помощью существующих инструментов онтологического анализа выполнить интеграцию онтологии O_{Sw_0} с онтологией O_1 и построить онтологию O_{1r} .

Частным случаем такой задачи может быть построение онтологии, которая непосредственно касается определённой текущей задачи пользователя (например, связанной с семантическим поиском) и содержит подмножество её классов, экземпляров и свойств. Описанные выше модели Wiki-ресурсов и онтологий ПрО, а также метод их интеграции были апробированы на ряде задач, связанных с научно-исследовательской и учебно-методической деятельностью.

6 Построение типичных информационных объектов e-BUE на основе онтологического анализа

На первом этапе создания Wiki-ресурса целесообразно построить (или выбрать) начальную онтологическую модель ПрО, которая будет использоваться для семантической разметки Wiki-ресурса, то есть сформировать основные типы ИО, которые описываются соответствующими Wiki-страницами, и отношения между ними. ИО – это информационная модель объекта определённой ПрО, которая определяет структуру, атрибуты, ограничение целостности и, возможно, поведение этого объекта. В Wiki-ресурсе ИО – это страница, которая однозначно идентифицируется своим уникальным именем.

Создавая Wiki-ресурсы, целесообразно определять характерные для данной ПрО типичные ИО. Это позволяет унифицировать представления сведений о подобных сущностях, использовать в них одинаковые рубрикаторы и порядок представления информации. Кроме того, это позволяет более эффективно осуществлять поиск и навигацию. В частности, разрабатывая энциклопедии и справочники на основе Wiki, целесообразно создавать категории, которые объединяют ИО с одинаковой структурой и похожими элементами. Для них можно создавать прототип страницы с унифицированным размещением материала – это упрощает восприятие информации пользователями.

Рассмотрим это на примере e-BUE – портальной версии «Большой украинской энциклопедии» («Big Ukrainian Encyclopedia»). Этот Интернет-ресурс работает по технологии Wiki, в частности, на основе Semantic MediaWiki. По жанру e-BUE является универсальной научно-популярной мультимедийной энциклопедией. Большинство статей e-BUE являются авторскими, они написаны ведущими специалистами Украины в соответствующих областях. Наличие у материала высококвалифицированного автора обеспечивает достоверность и качество представляемой информации. Публикация на ресурсе e-BUE работает как на распространение общественно важных знаний и развитие национального энциклопедического проекта, так и на популяризацию научного творчества автора. Энциклопедия является фактором развития и распространения украинского языка, знаний об Украине, её культурного наследия и научных достижений.

В результате обобщения и дальнейшей типологизации ИО энциклопедические статьи в e-BUE распределены по тематическим группам: «Персоналии», «Природа», «Цивилизация», «Области знаний», которые затем подразделяются на подкатегории, например, «Государственные деятели», «Украинские композиторы», «Вид спорта», «Издательства» и т.п. Классификатор «Области знаний» представляет научную классификацию статей, но в нём используются понятия, не всегда понятные пользователям, которые не являются специалистами. Типы ИО могут упорядочиваться иерархически, например, тип ИО «Государственные деятели Украины» является подтипом ИО «Государственные деятели». При этом используется несколько независимых классификаторов, и одна и та же статья может быть отнесена к нескольким различным тематическим группам.

Применительно к e-BUE, *тип ИО* – это группа статей e-BUE, которая имеет общие свойства. С точки зрения поиска целесообразно группировать в один тип статьи одной категории (например, «Государственные деятели»), множества категорий (например, «Физика» и «Научные работники») или статьи с подобными подзаголовками разделов. Чтобы упростить навигацию в БЗ, которой с точки зрения поисковых процедур является e-BUE, целесообразно выделить такие типы ИО, наиболее часто интересующие пользователей, которые не знают точного названия нужной статьи или интересуются несколькими близкими по тематике статьями. Наличие разнообразных типов ИО значительно улучшит качество поиска в e-BUE, но важно зафиксировать иерархию типов ИО, так как это позволяет строить сложные запросы и страницы-интеграторы. Запросы, использующие семантику, позволяют связывать значения определённых семантических свойств с определённым типом ИО. Например, семантическое свойство «Место работы» должно иметь значением статью, которая относится к типу ИО «Организация» или «Учреждение».

Следует отметить, что типы ИО могут пересекаться. Это связано с тем, что одна статья может относиться одновременно к нескольким разным категориям, потому что типизация ИО является не таксономией, а фолксономией, то есть отображает ненаучный подход к классификации ИО, а только фиксирует общеупотребительные представления пользователей. Она, кроме того, не является исчерпывающей, и потому существует много ИО, для которых не построен специфический тип ИО.

При разработке системы категорий такого ресурса, как e-BUE, целесообразно использовать для этого два подхода: «сверху вниз» и «снизу вверх».

Подход «Сверху вниз» – от категорий верхнего уровня к их подкатегориям, которые более детально характеризуют содержимое (например, для категории «Социальные коммуникации» можно создать подкатеорию «Социальная информатика».

Подход «Снизу вверх» – от статей к типам ИО. Создавая новые статьи или перерабатывая существующие, можно пытаться выбирать для них тип ИО с точки зрения пользователей. Например, по статье «Австро-прусская война 1866» можно создать тип ИО «Война», а по статье «Автореферат» – тип ИО «Документ». Потом эти типы можно использовать и для описания других статей e-BUE.

Технология Wiki позволяет создавать и использовать для ИО произвольное количество категорий, которые строятся по разными принципам классификации. Поэтому целесообразно выделять отдельные подкатегории и для таких ИО, которые имеют общий набор семантических свойств. Если семантические свойства являются объектными, то есть ссылками на другие ИО, то целесообразно определить категорию таких ИО. Например, если для персоналий обычно выделяют такие семантические свойства, как «Место рождения» и «Место учебы», то для их определения целесообразно вводить категории «Город» и «Учебное заведение».

Использование онтологического анализа для построения типов ИО e-BUE позволяет явным образом определить семантику этих типов, определить отношения между ними, проанализировать, какие типы ИО оказываются избыточными или дублируют друг друга, а какие необходимо дополнить. Кроме того, онтология позволяет явным образом определить семантику отношений между типами ИО, что отвечает типичным схемам статей e-BUE из разных направлений знаний.

Визуализация онтологии ИО средствами Protégé приведена на рисунке 1.

Создавая онтологию ИО O_{Sw} , нужно выполнить следующие операции.

- Построить и иерархически упорядочить классы онтологии $c_i, i = \overline{1, p}, c_i \in C_{IO}$, которые соответствуют категориям e-BUE, связанным с типичными ИО.

- Построить набор объектных свойств онтологии $\{r_i\}$, которые соответствуют семантическим свойствам Wiki-страниц $P_{sem_prop_page}$ любой из этих категорий, значениями которых является другие Wiki-страницы (возможно, определённой категории или множества категорий).
- Построить набор свойств данных онтологии $\{p_i\}$, которые соответствуют семантическим свойствам Wiki-страниц P_{sem_prop} любой из этих категорий, значениями которых являются конкретные значения определенного типа.
- Создать экземпляры классов онтологии X_{ind} , которые соответствуют определенным Wiki-страницам P_{user} , которые относятся к этим категориям.
- Если нужно, установить отношения между экземплярами и другими классами (для Wiki-страниц, которые относятся к более чем одной категории).

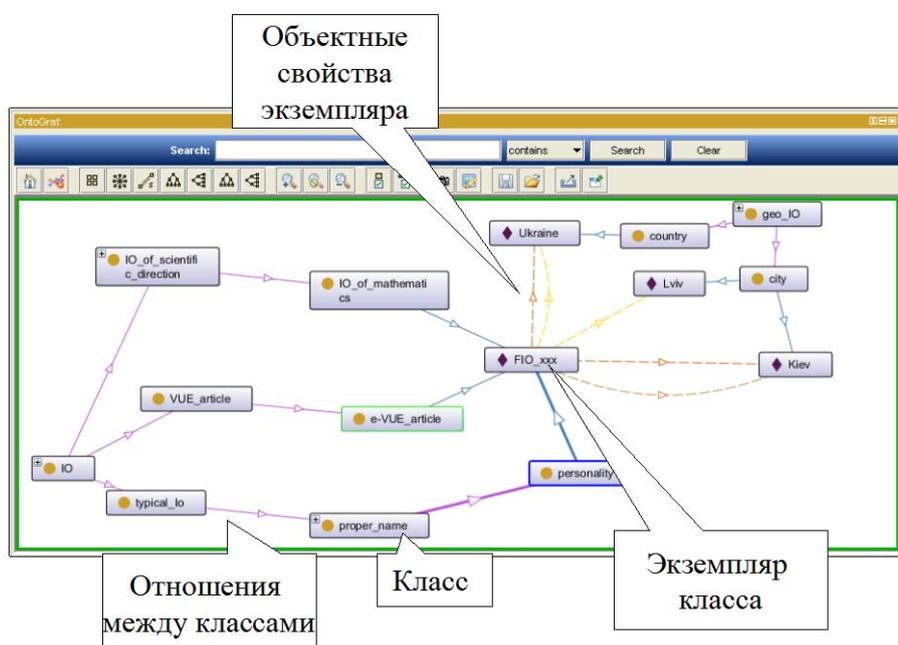


Рисунок 1 – Визуализация онтологии информационного объекта для e-BUE

Такая онтология позволяет более точно определить характеристики семантических свойств, используемых в e-BUE, и формализовать связи между ИО (рисунок 2).

Описанный выше метод позволяет довольно просто превратить такую онтологию в систему категорий Semantic MediaWiki. Кроме того, анализ объектных свойств и свойств данных тех классов онтологии, которые связаны с наиболее часто используемыми ИО, позволяет построить (или усовершенствовать уже существующие) шаблоны, которые должны применяться на Wiki-страницах, которые отнесены к этим типам.

Семантические свойства и типичные ИО позволяют значительно улучшить поиск и навигацию в Wiki-ресурсе.

Средства поиска, реализованные в e-BUE, можно разделить на следующие группы:

- по ключевым словам (для e-BUE – по названию статьи);
- по тематике (для e-BUE – по областям знаний);
- по типу ИО (для e-BUE – поиск персоналий и понятий, статей, связанных с природой и цивилизацией);

- по семантике ИО (для e-BUE – по значениям семантических свойств Wiki-страниц, описанных в онтологии Про).

Для того чтобы формализовать семантические свойства Wiki-страниц типичных ИО, нужно построить их формализованные описания и указать область значений этих свойств. Например, для типичных ИО категории «Персоналия» характерные следующие семантические свойства, приведённые в таблице 2.

Таблица 2 – Семантические свойства страницы категории «Персоналия» в e-BUE (фрагмент)

Название свойства	Тип данных
Автор BUE	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE
Фамилия	Текстовая строка
Имя	Текстовая строка
Отчество	Текстовая строка
Псевдоним	Текстовая строка
Дата рождения	Дата ДД.ММ или Текстовая строка
Год рождения	Текстовая строка или Число
Место рождения	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Административно-территориальная единица» или Текстовая строка
Дата смерти	Дата ДД.ММ или Текстовая строка
Год смерти	Текстовая строка или Число
Место обучения	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Учебное заведение» или категории «Административно-территориальная единица» или Текстовая строка
Научная степень	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Научная степень» или Текстовая строка
Ученое звание	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Ученое звание» или Текстовая строка
Воинское звание	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Воинское звание» или Текстовая строка
Титул	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Титул» или Текстовая строка
Профессия	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Профессия» или Текстовая строка
Школа, направление, группа, партия	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE или Текстовая строка
Место работы	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Организация или учреждение» или категории «Административно-территориальная единица» или Текстовая строка
Сотрудничал с	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Персоналия» или Текстовая строка
Повлиял на	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Персоналия» или Текстовая строка
Является автором	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Продукт деятельности» или Текстовая строка
Является потомком	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Персоналия» или Текстовая строка
Является родственником	Ссылка на соответствующую страницу e-BUE категории «Персоналия» или Текстовая строка
Веб-сайт	Текстовая строка

Для отображения этих свойств на Wiki-странице целесообразно использовать соответствующий Wiki-шаблон, который позволяет унифицировать представление этой информации на всех страницах, относящихся к этому типу ИО (рисунок 3).

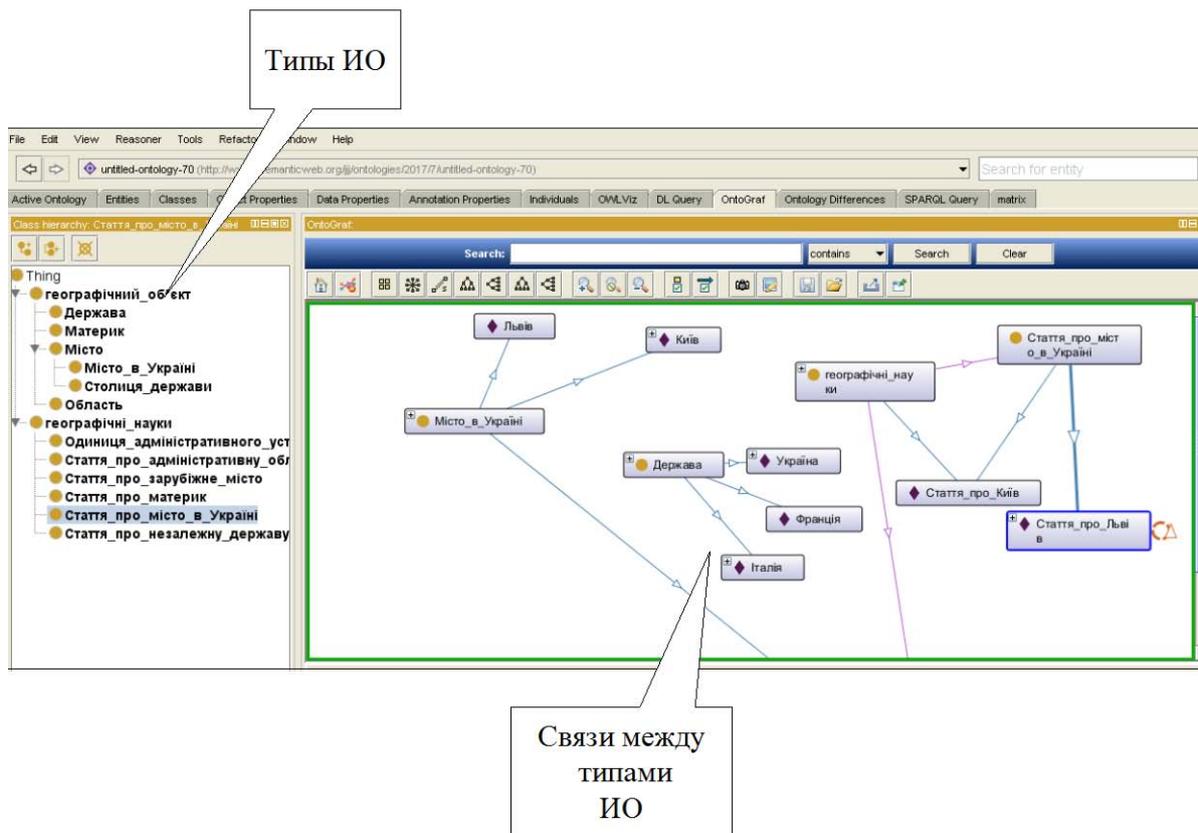


Рисунок 2 – Связи между типами информационных объектов в e-BUE

The screenshot shows a Wiki-category page for 'Альберт Великий'. It includes a text description of the saint, a table of semantic properties, and a table of contents. Callouts identify: 'Страница категории «Персоналия»' (Category page 'Personality'), 'Шаблон типичного ИО' (Typical IO template), 'Семантические свойства' (Semantic properties), and 'Значения семантических свойств' (Values of semantic properties).

М'я / Псевдонім	Альберт Великий, Святий Альберт
Гендер	
Дата народження	бл. 1193
Місце народження	м. Лауінген, Німеччина
Дата смерті	15.11.1280
Місце смерті	м. Кельн, Німеччина
Alma mater	Падуанський університет
Напрями	Богословство, філософія

Рисунок 3 – Wiki-сторінка категорії «Персоналія» в e-BUE

7 Использование онтологического анализа для семантической разметки стандартов информационной безопасности

Для обеспечения пользователям эффективного доступа к нормативно-правовому обеспечению информационной безопасности предлагается использовать семантические Wiki-технологии. Это обуславливается большими объёмами информации, которую надо представить, её динамичностью и мультилингвистичностью. Чтобы интегрировать сведения из разных источников, предлагается разработать онтологию ПрО «Информационная безопасность», элементы которой будут использованы для семантической разметки Wiki-страниц. Использование онтологического подхода обеспечит интероперабельность этих знаний и возможность их применения в других информационных системах.

Онтология «Информационная безопасность» (рисунок 4) базируется на наборе национальных и международных стандартов, связанных с вопросами информационной безопасности. На сегодня она содержит следующие базовые классы – «Предметная область», «Стандарт» и «Термин стандарта», для которых построены соответствующие экземпляры и подклассы. Экземпляры этих основных классов связаны объективными свойствами «Описан в стандарте», «Ссылается на стандарт», «Относится к ПрО» и т.п. Чтобы формализовать семантику отношений между элементами онтологии, которая сгенерирована по терминологическим базисам стандартов, построены специфические для ПрО объективные свойства.

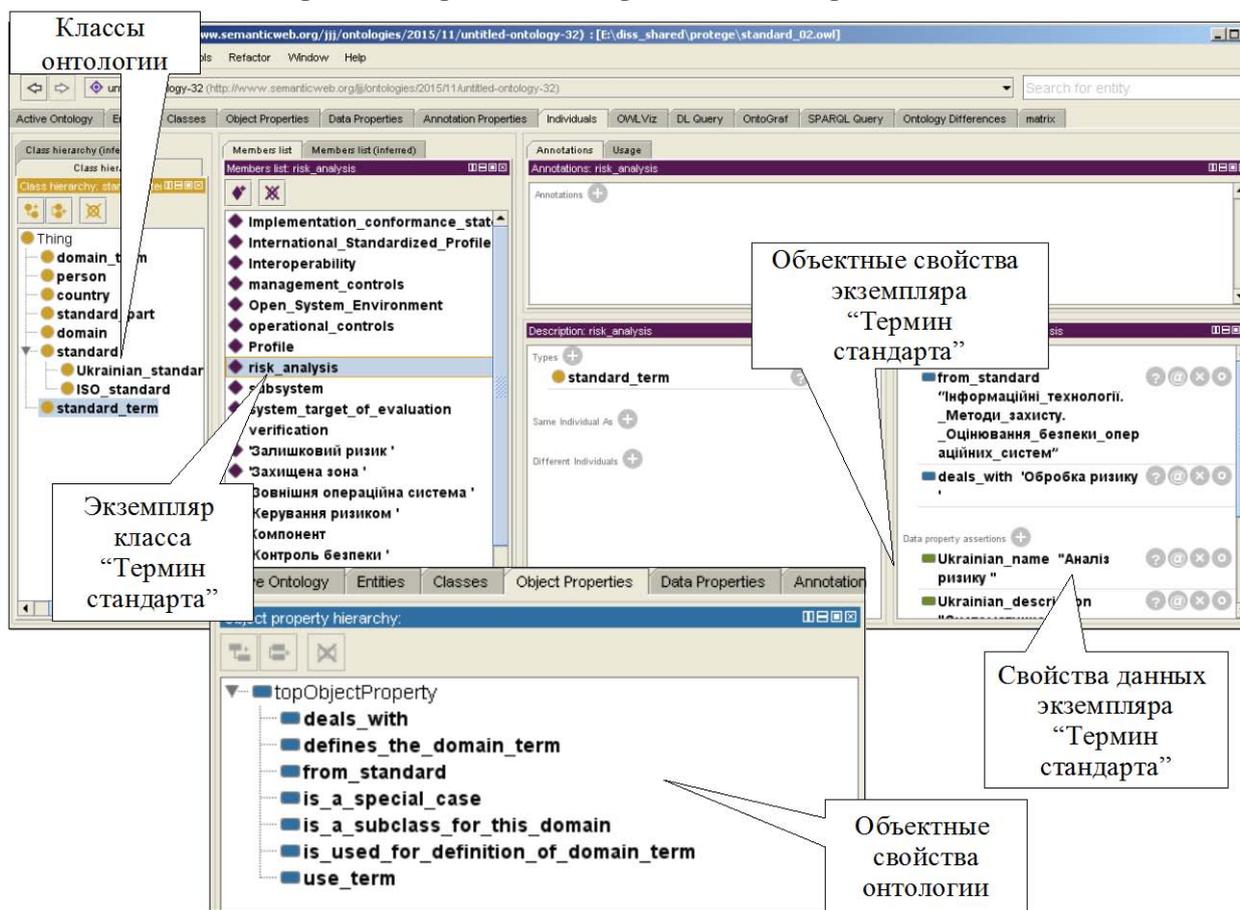


Рисунок 4 – Объективные свойства и экземпляры классов онтологии «Информационная безопасность»

На рисунке 4 приведён набор объективных свойств онтологии «Информационная безопасность», которые позволяют устанавливать связи между типичными ИО этой ПрО.

Protégé позволяет явно указать такие характеристики этих свойств, как транзитивность (например, для свойства «является подклассом для этого домена») и рефлексивность (например, для свойства «связан с»). В дальнейшем эти характеристики могут быть использованы для вывода новых знаний из тех Wiki-ресурсов, которые будут размечены соответствующими семантическими свойствами (следует ещё раз отметить, что непосредственно в Wiki нельзя задавать и обрабатывать такие характеристики свойств).

Отдельные Wiki-страницы целесообразно создать как для каждого стандарта в целом (рисунок 5), так и для отдельных их подразделов и определений. Кроме того, целесообразно использовать гиперссылки на другие Wiki-ресурсы, например, на Википедию или на e-BUE.

Такой подход значительно упрощает поиск и анализ таких документов и обеспечивает возможность их автоматической обработки. При этом пользователям не нужно будет самостоятельно отслеживать изменения в последней редакции стандарта или пересматриваться описание каждой потенциально пригодной системы – сопоставление может выполняться автоматизировано. Перспективы развития этой работы предусматривают создание глобальной семантической сети стандартов, которая свяжет:

- отдельные национальные и международные стандарты;
- объекты, которые используют эти стандарты и ссылаются на них (как материальные, так и ИО);
- специалистов, которые являются экспертами в сфере разработки стандартов, и организации разного уровня, которые поддерживают разные виды деятельности, связанной с разработкой и использованием стандартов.

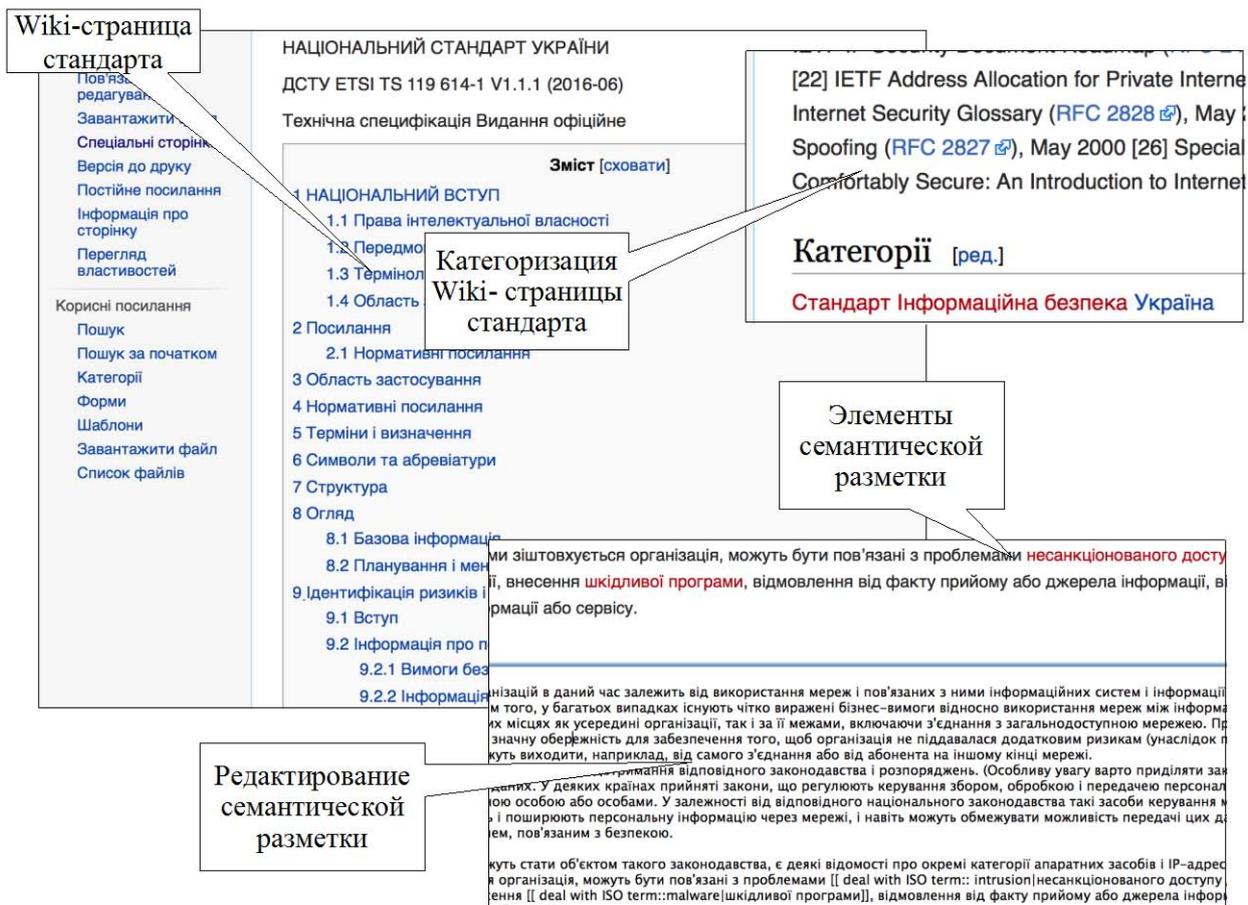


Рисунок 5 – Семантическая разметка Wiki-ресурса с помощью онтологии «Информационная безопасность»

Заключение

Одним из наиболее важных факторов эффективности интеллектуальных систем, ориентированных на функционирование в Web, является способность этих систем находить и использовать знания, содержащиеся в этой среде. Особый интерес вызывают те Web-ресурсы, из которых можно автоматизированно извлекать информацию для пополнения и усовершенствования онтологий, и технологии, обеспечивающие создание и функционирование таких ресурсов. В данной работе показано взаимодействие Web-ресурсов, разработанных на основе семантических Wiki-технологий с использованием онтологического анализа.

Предложенный подход позволяет использовать преимущества онтологического представления информации для управления знаниями в ИИС (например, в различных энциклопедиях и Wiki-справочниках), а также обеспечивает автоматизированный и простой для пользователей способ пополнения и усовершенствования онтологий Про.

Примеры апробации предложенного подхода подтверждают его эффективность для создания распределённых интеллектуальных систем. При разработке электронной версии Большой украинской энциклопедии для создания системы типичных ИО была разработана онтология, в которой были зафиксированы свойства этих объектов и отношения между ними. На основании описанных в работе сопоставлений по этой онтологии были сформированы категории и семантические свойства, которые в дальнейшем использовались при создании Wiki-страниц, соответствующих статьям энциклопедии. Такой подход позволил значительно упростить и ускорить согласование терминологии, используемой при разметке, между авторами, редакторами и техническим персоналом e-BUE.

Использование онтологии позволило формально описать характеристики этих семантических свойств, визуализировать связи между категориями и свойствами, значительно облегчить создание семантических запросов, эффективно и динамично интегрировать информацию, содержащуюся в этом ресурсе. Этот пример продемонстрировал целесообразность интеграции онтологий с Wiki-ресурсами большого объёма и сложной структуры.

На примере разработки Wiki-ресурса, содержащего стандарты, связанные с информационной безопасностью, показана полезность использования онтологий при обработке мультилингвистических документов, связи между которыми позволяют устанавливать термины онтологии.

Список источников

- [1] **Krotzsch M.** Semantic MediaWiki / M. Krotzsch, D. Vrandečić, M. Volkel. – <http://c.unik.no/images/6/6d/SemanticMW.pdf>.
- [2] OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax. Section 2. Abstract Syntax – <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/syntax.html>.
- [3] W3C Semantic Web Activity. – <http://www.w3.org/2001/sw/Activity/>.
- [4] SPARQL Query Language for RDF. W3C Recommendation, 2008 – <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- [5] **Gruber T.R.** Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Journal of Human-Computer Studies, 1995, V. 43, Issues 5-6. - P.907-928.
- [6] **Obr L.** The evaluation of ontologies / L.Obr, W. Ceuster, I. Mani, S. Ra, B.Smith // In Semantic web: Revolutionizing Knowledge Discovery in the Life Sciences, New York: Springer Verlag, 2006, 139-158. – <https://philpapers.org/archive/OBRTEO-6.pdf>.
- [7] Protégé. – <http://protege.stanford.edu/>.
- [8] **Rogushina J.** Semantic Wiki resources and their use for the construction of personalized ontologies // CEUR Workshop Proceedings 1631, 2016, - P.188-195.
- [9] **Rogushina J.** Analysis of Automated Matching of the Semantic Wiki Resources with Elements of Domain Ontologies // International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMSC), Vol.3, No.3, 2017. – P.50-58. – <http://www.mecs-press.org/ijmsc/ijmsc-v3-n3/IJMSC-V3-N3-5.pdf>

DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED INTELLIGENT SYSTEMS ON BASE OF ONTOLOGICAL ANALYSIS AND SEMANTIC WIKI TECHNOLOGIES

J.V. Rogushina

*Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ladamandraka2010@gmail.com*

Abstract

The necessity of automated knowledge acquisition by intelligent information systems from the distributed Web environment is considered. The feasibility of using ontological analysis to represent such knowledge is assessed. The necessity of replenishment of this knowledge from more dynamic information resources that provide automated processing of information (such as semantic Wiki resources) is grounded. Such information processing requires the development of formal model and methods for mapping of Wiki elements to ontology elements. The expressive possibilities of the Semantic MediaWiki technological environment that can be used for semantic marking of natural language and multimedia information are analyzed. The method of semantic markup of Wiki-resources by elements of the ontological model of the domain is proposed. This markup is based on the establishment of correspondences between the elements of the formal model of such ontology (classes, individuals, object and data properties) and the elements of the Semantic MediaWiki (categories, semantic properties, references). Method for improving the domain ontology is developed on the basis of a Wiki resource semantically marked by elements of this ontology. Approbation of the developed models and methods is resulted on example of development of the electronic version of the Great Ukrainian Encyclopedia on the Semantic MediaWiki platform. The novelty of the work lies in the way of comparing the elements of the ontological model of the domain with the elements of the semantic Wiki-resource, and also in the method of improving the ontology of the domain that is used for semantic markup of the Wiki resource, based on the changes and additions that are made to this resource.

Keywords: *Wiki-resource, ontology, information object, semantic markup.*

Citation: *Rogushina, J.V.* Development of distributed intelligent systems on base of ontological analysis and semantic wiki technologies [In Russian]. *Ontology of designing.* 2017; 7(4): 453-472. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-453-472.

References

- [1] **Krotzsch M.** Semantic MediaWiki / M. Krotzsch, D. Vrandečić, M. Volkel. – <http://c.unik.no/images/6/6d/SemanticMW.pdf>.
- [2] OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax. Section 2. Abstract Syntax – <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/syntax.html>.
- [3] W3C Semantic Web Activity. – <http://www.w3.org/2001/sw/Activity/>.
- [4] SPARQL Query Language for RDF. W3C Recommendation, 2008 – <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- [5] **Gruber TR.** Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 1995, V. 43, Issues 5-6. - P.907-928.
- [6] **Obr L.** The evaluation of ontologies / L.Obr, W. Ceuster, I. Mani, S. Ra, B.Smith // *In Semantic web: Revolutionizing Knowledge Discovery in the Life Sciences*, New York: Springer Verlag, 2006, 139-158. – <https://philpapers.org/archive/OBRTEO-6.pdf>.
- [7] Protégé. – <http://protege.stanford.edu/>.
- [8] **Rogushina J.** Semantic Wiki resources and their use for the construction of personalized ontologies // *CEUR Workshop Proceedings 1631*, 2016, - P.188-195.
- [9] **Rogushina J.** Analysis of Automated Matching of the Semantic Wiki Resources with Elements of Domain Ontologies // *International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMSC)*, Vol.3, No.3, 2017. – P.50-58. – <http://www.mecs-press.org/ijmsc/ijmsc-v3-n3/IJMSC-V3-N3-5.pdf>

Сведения об авторе



Рогущина Юлия Витальевна, 1967 г. рождения. Окончила факультет кибернетики Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, кандидат физико-математических наук. Старший научный сотрудник Института программных систем НАН Украины. Автор более 200 научных публикаций, среди которых монографии и учебники в области онтологического анализа, семантического поиска, интеллектуальных агентов и менеджмента знаний.

Rogushina Yulia Vitalyevna (b. 1967). Graduated from the Faculty of Cybernetics of Kiev State University named after TG Shevchenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Senior Researcher of the Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine. Author of more than 200 scientific publications, including monographs and text-

books in the field of ontological analysis, semantic search, intelligent agents and knowledge management.

УДК 004.93

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ФОРМАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ В НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ

Е.Е. Витяев¹, В.В. Мартынович²*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия*¹ vityaev@math.nsc.ru, ² vilco@yandex.ru

Аннотация

Рассматривается определение формальных понятий как неподвижных точек импликаций. На основе этого определения водится понятие вероятностных формальных понятий путем замены импликаций на специальные максимально специфические вероятностные правила, для которых ранее было доказано, что неподвижные точки для них логически непротиворечивы. Определяется алгоритм *ProbClosure* обнаружения вероятностных формальных понятий. Для разработки алгоритмов кластеризации и классификации контекст рассматривается как выборка из генеральной совокупности. Обобщая алгоритм *ProbClosure*, определяются алгоритмы кластеризации *ConcClosure* и *StatClosure* путем введения различных функционалов энергии, определяющих степень непротиворечивости правил в неподвижной точке. Алгоритмы классификации получаются путем применения алгоритмов кластеризации к новым данным. Проведено сравнение полученных алгоритмов классификации с решающими деревьями C4.5, ID3 и методом классификации, основанным на решётке формальных понятий. Сравнение проведено на данных репозитория UC1. Полученные результаты показали сравнительно большую точность разработанных алгоритмов по сравнению с указанными методами.

Ключевые слова: анализ формальных понятий, вероятность, ассоциативные правила, классификация.

Цитирование: Витяев, Е.Е. Вероятностные формальные понятия в некоторых задачах классификации / Е.Е. Витяев, В.В. Мартынович // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №4(26). – С. 473-486. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-473-486.

Введение

Анализ формальных понятий (АФП) [1] содержит в себе удобный инструментарий для представления и обработки различных данных. Формальные понятия образуют целостные объединения групп свойств и объектов и поэтому являются очевидными кандидатами на классификационные единицы. Это позволяет использовать их при решении задач кластеризации и классификации.

В рамках АФП изучается весь спектр задач анализа данных. За последние годы опубликованы работы по извлечению паттернов атрибутов [2, 3], работы по алгоритмам кластеризации и извлечению ассоциативных правил, предпринят ряд попыток построения алгоритмов классификации и др. [4-7]. Для нас особый интерес представляет работа [7], где предложен алгоритм построения решающих деревьев на основе решетки формальных понятий, а результаты экспериментов представлены в виде таблицы с измерениями точности работы алгоритмов. Это позволяет сравнить точность предлагаемых алгоритмов классификации, разработанных на основе вероятностных формальных понятий и соответствующего алгоритма кластеризации с результатами этих алгоритмов.

Раздел 1 предлагаемой статьи посвящен определению вероятностных и статистических формальных понятий. В разделе 2 приводятся основные алгоритмы их построения: *Prob-*

Closure для вероятностных, *StatClosure* для статистических формальных понятий. Центральным можно считать раздел 3, где рассматриваются основные практические модификации процедуры *StatClosure* – алгоритмы *ClassifyInCluster*, *ClassifyOverClusters*, - а также различные параметризации этих алгоритмов, позволяющие придать предлагаемому подходу требуемую гибкость. В разделе 4 приводятся результаты классификации, полученные этими алгоритмами. Протоколы экспериментов и сравнение с близкими по семантике методами классификации даются в разделе 5. В качестве опорных рассматриваются результаты, полученные в [7] с помощью построения решающих деревьев на основе решетки формальных понятий, что позволяет более наглядно показать эффективность методов *ClassifyInCluster* и *ClassifyOverClusters*.

1 Вероятностные и статистические формальные понятия

Напомним базовые определения АФП [1].

Определение 1. Формальный контекст – $K = (G, M, I)$, где G – множество объектов, M – множество атрибутов и $I \subseteq G \times M$ – отношение принадлежности атрибутов объектам.

Определение 2. $A \subseteq G$, $B \subseteq M$. Тогда:

- $A^\uparrow = \{m \in M \mid \forall g \in A, (g, m) \in I\}$;
- $B^\downarrow = \{g \in G \mid \forall m \in B, (g, m) \in I\}$;
- (A, B) – формальное понятие, если $A^\uparrow = B$ и $B^\downarrow = A$.

Определение 3. $R = (B, C)$ – импликация, $R \in \mathfrak{R} = \text{Imp}(K)$, если $B^\downarrow \subseteq C^\downarrow$ и $B, C \subseteq M$.

При этом $B = R^\leftarrow$ называется посылкой, а $C = R^\rightarrow$ – заключением импликации. Оператор логического вывода, использующий множество импликаций \mathfrak{R} , добавляет к некоторому множеству атрибутов L другие, выводимые из него атрибуты:

$$\Pi_{\mathfrak{R}}(L) = L \cup \{C \mid \exists R \in \mathfrak{R} : R^\leftarrow \subseteq L, R^\rightarrow = C\}.$$

Вероятностное обобщение формальных понятий можно получить [8], опираясь на следующий результат.

Теорема 1 [1]. Множество неподвижных точек оператора логического вывода совпадает с множеством формальных понятий. Для любого множества $B \subseteq M$, $\Pi_{\mathfrak{R}}(B) = B \Leftrightarrow B^{\downarrow\uparrow} = B$.

Вероятностные формальные понятия мы получим как неподвижные точки соответствующего вероятностного оператора логического вывода. Для его определения построим логико-вероятностную модель, описывающую формальный контекст K .

Определение 4. Для конечного контекста $K = (G, M, I)$ определим сигнатуру контекста σ_K , содержащую лишь множество предикатных символов, совпадающее с M . Для сигнатуры σ_K и контекста K как модели определим интерпретацию предикатных символов следующим образом: $K \models m(x) \Leftrightarrow (x, m) \in I$.

Определение 5. Определим классические логические конструкции:

- 1) $\text{Term}(K)$ – множество термов состоит из символов переменных;
- 2) $\text{At}(K)$ – атомами являются выражения $m(t)$, где $m \in \sigma_K$ и $t \in \text{Term}(K)$;
- 3) $\text{Lit}(K)$ – литеры включают все атомы $m(t)$ и их отрицания $\neg m(t)$;
- 4) $\text{For}(K)$ – определяется индуктивно: всякий атом – формула, и для любых $\Phi, \Psi \in \text{For}(K)$ синтаксические конструкции $\Phi \wedge \Psi, \Phi \vee \Psi, \Phi \rightarrow \Psi, \neg\Phi$ - тоже формулы.

Определение 6. Рассмотрим произвольную вероятностную меру μ на множестве G , определенную в колмогоровском смысле. Определим контекстную вероятностную меру на множестве формул как:

$$\nu: \text{For}(K) \rightarrow [0,1], \nu(\phi) = \mu(\{g \in G \mid g \models \phi\}).$$

Определим правила на контексте, как аналог импликаций, а также их составные части.

Определение 7. Пусть $C, H_i \in \text{Lit}(K)$, $C \notin \{H_1, H_2, \dots, H_k\}$, $k \geq 0$, тогда:

- 1) *Правило* $R = (H_1, H_2, \dots, H_k \rightarrow C)$ есть импликация $(H_1 \wedge H_2 \dots \wedge H_k \rightarrow C)$;
- 2) Посылкой R^{\leftarrow} правила R называется набор литер $\{H_1, H_2, \dots, H_k\}$;
- 3) Заключением правила является $R^{\rightarrow} = C$;
- 4) Длиной правила назовём мощность его посылки $|R^{\leftarrow}|$;
- 5) Если $R_1^{\leftarrow} = R_2^{\leftarrow}$ и $R_1^{\rightarrow} = R_2^{\rightarrow}$, то $R_1 = R_2$.

Определение 8. Вероятностью правила R является значение

$$\eta(R) = \nu(R^{\rightarrow} \mid R^{\leftarrow}) = \frac{\nu(R^{\leftarrow} \wedge R^{\rightarrow})}{\nu(R^{\leftarrow})}.$$

Если знаменатель $\nu(R^{\leftarrow})$ равен 0, то вероятность правила неопределена.

Определение 9. Правило R назовём максимально специфичным $R \in \text{MSR}(K)$, если нет правила \tilde{R} с более длинной посылкой $R^{\leftarrow} \subset \tilde{R}^{\leftarrow}$ и более высокой вероятностью $\eta(\tilde{R}) > \eta(R)$.

Правила определения 7 позволяют установить вероятностный оператор замыкания. Для этого заменим множество импликаций $\text{Imp}(K)$ на множество максимально специфических вероятностных правил. Поэтому ниже будем предполагать, что \mathfrak{R} – множество максимально специфичных правил. По аналогии с теоремой 1 определим вероятностные формальные понятия как неподвижные точки оператора логического вывода, использующего множество правил \mathfrak{R} .

Определение 10. Замыканием \bar{L} множества литер L будем называть наименьшую неподвижную точку оператора логического вывода, содержащую L :

$$\bar{L} = \Pi_{\mathfrak{R}}(\bar{L}) = \Pi_{\mathfrak{R}}^{\infty}(L) = \bigcup_{k \in \mathbb{N}} \Pi_{\mathfrak{R}}^k(L).$$

Определение 11. Пусть $\mathfrak{R} \subset \text{MSR}(K)$ – множество максимально специфических правил. Тогда B – вероятностное формальное понятие, если $\Pi_{\mathfrak{R}}(B) = B$.

Теорема 2 [9]. Пусть \mathfrak{R} – множество максимально специфических правил, тогда: если L непротиворечиво, то $\Pi_{\mathfrak{R}}(L)$ также непротиворечиво.

На основе определения 11 и теоремы 2 нетрудно предложить алгоритм замыкания *ProbClosure*, который для заданного множества литер B строит замыкание \bar{B} , являющееся минимальной неподвижной точкой, содержащей множество B , и, в силу определения 11, вероятностным формальным понятием. Алгоритм *ProbClosure* не требует разрешения противоречий, так как в силу теоремы 2 исключается ситуация, когда в процессе вывода обнаруживается одновременно литера и ее отрицание.

Алгоритм 1. ProbClosure. Замыкание набора литер оператором вывода.

Вход: $\mathfrak{R} \subseteq \text{For}(K)$, $K = (G, M, I)$, $B \subseteq \text{Lit}(K)$

Выход: $C \subseteq \text{Lit}(K)$ – вероятностное формальное понятие

- 1: **Функция** ProbClosure(K, \mathfrak{R}, B)
- 2: $B_0 \leftarrow B$
- 3: $k \leftarrow 0$
- 4: **Повторять**
- 5: $B_{k+1} \leftarrow \Pi_{\mathfrak{R}}(B_k)$
- 6: $k \leftarrow k + 1$
- 7: **До тех пор пока** $B_k \neq B_{k-1}$
- 8: **Вернуть** B_k
- 9: **Конец функции**

В практических задачах контекст полностью неизвестен, а известна только некоторая выборка из контекста. Адекватной моделью данных, применяемой в большинстве методов машинного обучения [10], можно считать следующую:

- источник данных e – многомерная случайная величина с заданным распределением;
- обучающая выборка $G_{teach} = \{(g_{(1)}, \dots, g_{(n)})\}$ – выборка из генеральной совокупности, где $g_{(i)}$ попарно независимые случайные величины с распределением e .

Это означает, что моделью наблюдаемого контекста $K = (G_{teach}, M, I)$ является выборка из генеральной совокупности $K^* = (G, M, I)$, где каждый $g \in G_{teach}$ представлен многомерной бернуллиевской случайной величиной. Однако, задача классификации должна по-прежнему пониматься в смысле исходного контекста K^* , образующего генеральную совокупность объектов. В таких условиях непротиворечивость логического вывода с помощью $\Pi_{\mathfrak{R}}$ может быть нарушена, поскольку максимально специфические правила, извлеченные из наблюдаемого контекста K , зачастую не будут являться таковыми по отношению к истинному контексту K^* .

Решить проблему противоречивости логического вывода возможно и в этом случае. Рассмотрим общий процесс преобразования набора литер. Пусть исходное множество литер $B = B_1$ проходит через цепочку преобразований B_1, \dots, B_n (такие преобразования происходят со стартовым множеством B в алгоритме ProbClosure). Предположим, что для алгоритма преобразования наборов литер существует некий критерий ϕ , минимизация которого определяет направление поиска в пространстве всех означиваний литер $B \in 2^{\text{Lit}(K)}$. Такие алгоритмы очень удобны в вычислительном плане, поскольку позволяют определить процедуру минимизации итеративно и свести исходную задачу к задаче минимизации.

Для процесса преобразований конфигураций верно, что если первый и последний наборы совпадают $B_1 = B_n$, то он определяет тождественное преобразование, и тогда для критерия ϕ должно выполняться определяемое ниже условие.

Определение 12. Условие потенциальности

$$B_1 = B_n \Rightarrow \sum_{i=1, \dots, n-1} \phi(B_i, B_{i+1}) = 0.$$

Функционал ϕ является аналогом физического потенциала. Условие в определении 12 является условием независимости потенциала от пути его вычисления, а, как известно, потенциал позволяет определить функцию энергии. Заметим, что идея введения функционала энергии не нова, в [11] она подробно изучена в контексте механизма обратной связи для глубоких нейронных сетей.

Теорема 3 [11]. Критерий ϕ может быть выражен с помощью потенциальной энергии E : $\phi(B, C) = E(C) - E(B)$; при этом $\phi(B, C)$ удовлетворяет условию потенциальности, а значение потенциала не зависит от точки начала отсчета энергии.

Зафиксируем некоторое множество правил \mathfrak{R} . Далее будем считать что все правила R берутся из этого универсума правил \mathfrak{R} .

Определение 13. Пусть R – правило, а $B \subseteq \text{Lit}(K)$.

- R применимо (или $R \in \text{App}(B)$) к набору литер B , если $R^{\leftarrow} \subset B$.
- R подтверждается (или $R \in \text{Sat}(B)$) на наборе B , если $R \in \text{App}(B)$, и $R^{\rightarrow} \in B$.
- R опровергается (или $R \in \text{Fal}(B)$) на наборе B , если $R \in \text{App}(B)$, и $\neg R^{\rightarrow} \in B$.

Определение 14. Энергией противоречий мы называем функционал энергии, определенный с помощью веса опровергающихся правил, за вычетом энергии подтверждающихся правил:

$$E(B) = \sum_{R \in \text{Fal}(B)} \gamma(R) - \sum_{R \in \text{Sat}(B)} \gamma(R), \quad \gamma(R) : \mathfrak{R} \rightarrow [0, \infty), \quad \phi(B, \emptyset) = E(B).$$

Задача семейства алгоритмов состоит в том, чтобы минимизировать энергию противоречий $E(B) \rightarrow \mathbf{min}$, и, таким образом, найти максимально непротиворечивые комбинации литер (заметим, что можно также показать, что при наличии множества максимально специфичных правил алгоритм дает и абсолютно непротиворечивые комбинации литер, совпадающие с вероятностными формальными понятиями). Однако, полное решение задачи минимизации функционала энергии выглядит как полный перебор в пространстве означиваний литер $2^{\text{Lit}(K)}$.

Вспомним, что мы работаем в вероятностном контексте, где точного решения исходной задачи классификации не требуется, а приемлемость решения определяется иными способами (например, предсказательной точностью классификатора - *Accuracy*). Поэтому абсолютной точностью при решении задачи минимизации функционала энергии можно пренебречь, а поставленная вычислительная проблема может быть решена субоптимальным образом. Предлагается вычислять приближенные решения посредством «жадного» итеративного алгоритма *StatClosure*, который минимизирует потенциал и выполняет поиск локально оптимальных решений соотношения $E(B) \rightarrow \mathbf{min}$. Свойство жадности опирается на то предположение, что для субоптимальности достаточно рассмотреть только потенциал перехода к ближайшим соседям, т.е. от конфигурации B к конфигурациям вида $B \pm l$, где $l \in \text{Lit}(K)$.

Алгоритм 2. StatClosure. Замыкание набора литер статистическим оператором вывода.

Вход: $\mathfrak{R} \subseteq \text{For}(K)$, $K = (G, M, I)$, $B \subseteq \text{Lit}(K)$

Выход: $C \subseteq \text{Lit}(K)$ – статистическое формальное понятие

1: **Функция** $\text{StatClosure}(K, \mathfrak{R}, B)$

2: $B_0 \leftarrow B$

3: $k \leftarrow 0$

4: **Повторять**

5: $k \leftarrow k + 1$

6: $B_k \leftarrow B_{k-1}$

7: $\psi \leftarrow 0$

8: $\text{Candidates} \leftarrow \emptyset$

- 9: Для всех $L \in \text{Lit}(K) \setminus (B_{k-1} \cup \neg B_{k-1})$ **выполнять**
- 10: Candidates \leftarrow Candidates $\cup \{B_{k-1} \cup L\}$
- 11: Для всех $L \in B_{k-1}$ **выполнять**
- 12: Candidates \leftarrow Candidates $\cup \{B_{k-1} \setminus L\}$
- 13: Для всех $C \in \text{Candidates}$ **выполнять**
- 14: $\alpha \leftarrow \phi(B_{k-1}, C)$
- 15: **Если** $\alpha < \psi$ **тогда**
- 16: $\psi \leftarrow \alpha$
- 17: $B_k \leftarrow C$
- 18: **Конец условия**
- 19: **Конец цикла**
- 20: **До тех пор пока** $\psi < 0$
- 21: **Вернуть** B_k
- 22: **Конец функции**

Полученные алгоритмом 2 неподвижные точки локально минимизируют функционал энергии противоречий, уменьшают количество противоречий до минимально возможного, а потому частично решают проблему противоречивости логического вывода.

2 Алгоритмы классификации

Рассмотрим некоторые модификации алгоритма *StatClosure*. Он не является точным обобщением алгоритма вероятностного замыкания *ProbClosure*. Чтобы понять, в чём отличие, рассмотрим момент добавления литеры в содержание понятия. Пусть к B_{s-1} была добавлена литера L_s , в результате чего получилось множество литер $B_s = B_{s-1} + L_s$. Тогда $\phi(B_{s-1}, B_s)$ из процедуры статистического замыкания представляет собой комбинацию γ -весов из сумм по следующим группам правил:

- 1) $R \in \text{Sat}(B_s)$ и $R^\rightarrow = L_s$, то есть набор B_s подтверждает заключение правила R ;
- 2) $R \in \text{Fal}(B_s)$ и $R^\rightarrow = \neg L_s$, то есть B_s опровергает заключение правила R ;
- 3) $R \in \text{Sat}(B_s)$ и $L_s \in R^{\leftarrow}$, т.е. L_s делает посылку правила верной;
- 4) $R \in \text{Fal}(B_s)$ и $L_s \in R^{\leftarrow}$, т.е. L_s делает посылку верной и при этом R не верно на B_s .

Определение 15. Обозначим правила, возникающие при рассмотрении литер-кандидатов на добавление к основному множеству литер B (первого и второго типов из перечисления выше) следующим образом:

- $\text{ConcSat}(B, L) = \text{App}(B) \cap \{R : R^\rightarrow = L\}$;
- $\text{ConcFal}(B, L) = \text{App}(B) \cap \{R : R^\rightarrow = \neg L\}$;
- $\text{PreSat}(B, L) = \text{Sat}(B + L) \cap \{R : L \in R^{\leftarrow}\}$;
- $\text{PreFal}(B, L) = \text{Fal}(B + L) \cap \{R : L \in R^{\leftarrow}\}$.

Оператор замыкания из *ProbClosure* устроен таким образом, что использует только правила типов *ConcSat*. Однако в случае возникновения противоречий необходимо также учитывать и *ConcFal*. Поэтому модификация алгоритма *StatClosure*, наиболее близкая к

ProbClosure и учитывающая *ConcSat* и *ConcFal*, приводит к следующему потенциалу энергии противоречий:

$$\varphi(B_{s-1}, B_{s-1} \cup \{L\}) = \sum_{R \in \text{ConcFal}(B_{s-1}, L)} \gamma(R) - \sum_{R \in \text{ConcSat}(B_{s-1}, L)} \gamma(R).$$

Замечание 1. Следует отметить, что отображение $\tilde{\phi}$ уже не будет потенциалом в смысле определения 12. Однако алгоритм 2 по-прежнему применим после замены $\phi \rightarrow \tilde{\phi}$. Модификацию алгоритма с учетом модификации потенциала непротиворечивости определим как *ConcConcepts*.

Рассмотрим ещё одну модификацию алгоритма *StatClosure*. Раз имеются два различных алгоритма *ConcClosure* и *StatClosure*, имеющих одинаковую природу, то можно использовать их композицию. Самой простой является линейная комбинация

$$\alpha \cdot \text{StatConcepts} + (1 - \alpha) \cdot \text{ConcConcepts}.$$

Для этого мы смешиваем потенциалы:

$$\begin{aligned} \varphi_\alpha(B, B+L) &= \alpha \cdot \varphi_{\text{Stat}}(B, B+L) + (1 - \alpha) \cdot \varphi_{\text{Conc}}(B, B+L) = \\ &= \alpha \cdot \left[\sum_{\text{PreFal}(B, L)} \gamma(R) - \sum_{\text{PreSat}(B, L)} \gamma(R) \right] + \sum_{\text{ConcFal}(B, L)} \gamma(R) - \sum_{\text{ConcSat}(B, L)} \gamma(R) \end{aligned}$$

Определение 16. Параметр $\beta = 1/\alpha$ из формулы для φ_α назовем весом посылочных правил и обозначим как *PremiseFactor*.

Зачастую бывает желательно, чтобы проблема непротиворечивости решалась не только на уровне литер в описании понятия, но и на уровне правил, законов, которые это содержание описывают. В некоторых случаях допустим определённый уровень противоречий, определяемый количественным соотношением между подтверждающимися и опровергающимися правилами. В таком случае мы можем уменьшить вес правил, противоречащих добавлению литер. Это позволит добавлять в процессе выполнения процедуры замыкания больше литер, которые могут являться противоречивыми, но не более, чем того допускает выбранный уровень противоречивости w и, наоборот, если требуется большая нетерпимость к противоречиям между различными правилами в логическом выводе, то уровень w следует увеличивать:

$$\begin{aligned} \varphi_w(B, B+L) &= \\ &= w \cdot \left[\sum_{\text{PreFal}(B, L)} \gamma(R) + \sum_{\text{ConcFal}(B, L)} \gamma(R) \right] - \left[\sum_{\text{PreSat}(B, L)} \gamma(R) + \sum_{\text{ConcSat}(B, L)} \gamma(R) \right] = \\ &= w \cdot \sum_{\text{Fal}(B+L)} \gamma(R) - \sum_{\text{Sat}(B+L)} \gamma(R). \end{aligned}$$

Определение 17. Параметр w из φ_w назовем весом противоречий.

Алгоритм *StatClosure*, а также его модификации с помощью веса посылочных правил и веса противоречий, могут успешно применяться для решения прикладных задач анализа данных аналогично тому, как для этого применяется АФП. Принципиальное отличие в том, что для применения алгоритма *StatClosure* и его модификаций не требуется безошибочность данных.

Рассмотрим применение алгоритма *StatClosure* и его модификаций к задачам классификации. Пусть $K = (G^T \cup G^C, M \cup \Lambda, I)$ есть контекст, представляющий собой выборку из генеральной совокупности, где G^T – множество объектов обучения, а G^C – множество объектов контроля, а Λ – множество атрибутов разметки, определяющих класс объекта. Считаем, что роль учителя сводится к разметке объектов и присвоению им метки из

множества классов Λ . Логику учителя можно сформулировать в виде отображения $Teach: G^T \rightarrow \Lambda$. Задача алгоритма классификации – доопределить отображение $Teach$ на контрольном множестве G^C в контексте $K^C = (G^C, M, I \cap (G^C \times M))$.

На первом этапе выполняется процедура кластеризации, обнаруживающая множество всех статистических формальных понятий на контексте $K^T = (G^T, M \cup \Lambda, I \cap (G^T \times (M \cup \Lambda)))$ относительно одной из описанных выше вариаций $StatClosure$, которую мы условно обозначим за $Closure(\cdot)$:

$$\Omega = \{ Closure(g^\uparrow) \mid g \in G^T \}.$$

Далее классифицируемый объект поступает на обработку в процедуру $ClassifyInCluster$, описанную в алгоритме 3.

Алгоритм 3. $ClassifyInCluster$. Классификация объекта.

Вход: $g \in G^{Control}$, $Closure(\cdot)$, Ω

Выход: $c \subseteq \Lambda$ – разметка объекта g

1: **Функция** $ClassifyInCluster(g, Closure, \Omega)$

2: $c \leftarrow \emptyset$

3: $B \leftarrow g^\uparrow$

4: $\overline{B} \leftarrow Closure(B)$

5: **Если** $\overline{B} \in \Omega$ **тогда**

6: $c \leftarrow \overline{B} \cap \Lambda$

7: **Конец условия**

8: **Вернуть** c

9: **Конец функции**

Алгоритм 3 и приводимый далее алгоритм 4, дают решение задачи классификации любым из описанных выше вариаций алгоритма $StatClosure$.

В [12] предлагается другой подход к задаче классификации. В работе решается задача распознавания транскрипционных факторов в последовательности ДНК. Идея заключается в том, чтобы определить степень принадлежности классифицируемого объекта ко всему спектру из найденных классов (кластеров).

Обратимся к определению 11 вероятностного оператора замыкания. Как нетрудно заметить, вероятностное формальное понятие полностью определяется множеством правил, которые его описывают. Действительно, по описанию прототипа класса $B \subseteq Lit(K)$ можно найти уже знакомое нам множество правил $Sat(B)$. И обратно, по множеству правил \mathfrak{R} можем построить прототип класса $B = \bigcup_{R \in \mathfrak{R}} (R^{\leftarrow} \cup R^{\rightarrow})$. Получаем эквивалентное определение вероятностных формальных понятий через импликативные взаимосвязи.

Такое определение даёт возможность построить оценку близости классифицируемого объекта g к классу B , аналогично методам нечёткой кластеризации. Для этого следует вычислить значение энергии $E(g^\uparrow)$ относительно множеств правил $Sat(B)$ каждого из классов. Тогда оценки принадлежности к классу будут следующими:

$$\lambda_B(g^\uparrow) = \sum_{R \in \text{Fal}(g^\uparrow) \cap \text{Sat}(B)} \gamma(R) - \sum_{R \in \text{Sat}(g^\uparrow) \cap \text{Sat}(B)} \gamma(R).$$

Алгоритм 4 выбирает два наиболее подходящих класса B_I и B_{II} и в случае существенного смещения оценок принадлежности, задаваемого параметром $\lambda_* \leq \lambda_{B_I}(\cdot)/\lambda_{B_{II}}(\cdot)$, даётся ответ в зависимости от вхождения признаков разметки из Λ в описание класса B_I .

Алгоритм 4. *ClassifyOverClusters*. Классификация объектов.

Вход: $g \in G^{Control}$, $\text{Closure}(\cdot)$, Ω

Выход: $c \subseteq \Lambda$ – разметка классов для объектов $g \in G^{Control}$

1: **Функция** $\text{ClassifyOverClusters}(K, \mathfrak{R}, \Omega)$

2: $\lambda_{Best}, \lambda_{Second} \leftarrow 0$

3: $B_{Best}, B_{Second} \leftarrow \perp$

4: $X \leftarrow g^\uparrow$

5: $\bar{X} \leftarrow \text{Closure}(X)$

6: **Для всех** $B \in \Omega$ **выполнять**

7: $\lambda \leftarrow \lambda_B(\bar{X})$

8: **Если** $\lambda > \lambda_{Best}$ **тогда**

9: $\lambda_{Best} \leftarrow \lambda$

10: $B_{Best} \leftarrow B$

11: **Иначе если** $\lambda > \lambda_{Second}$

12: $\lambda_{Second} \leftarrow \lambda$

13: $B_{Second} \leftarrow B$

14: **Конец условия**

15: **Конец цикла**

16: **Если** $\frac{\lambda_{Best}}{\lambda_{Second}} \geq \lambda_*$ **тогда**

17: **Вернуть** $B_{Best} \cap \Lambda$

18: **Конец условия**

19: **Вернуть** \emptyset

20: **Конец функции**

3 Данные репозитория UCI

В последнее время активно изучается тематика построения базисов ассоциативных правил [13], анализа зашумленных контекстов [2, 3, 6], и эффективной классификации [4, 5] в рамках направления АФП. Все эти задачи в той или иной степени могут быть отнесены к анализу данных, поэтому представляется важным сопоставить эти методы анализа формальных понятий с предлагаемыми методами классификации, основанными на вероятностных формальных понятиях (ВФП). Для сравнения была выбрана статья [7], в которой метод классификации заключается в построении особого рода решающих деревьев на основе концептуальных решеток (обозначим его как TreeFCA).

Основным источником данных является UCI [14]. К его преимуществам можно отнести обширные библиографические списки, группированные по наборам данных, а также широкую распространённость предлагаемых наборов данных в литературе.

Сравнение с [7] проводилось на следующих данных:

- 1) *zoo* – содержит 17 булевозначных признаков, каждый из которых описывает отдельный аспект строения животной особи. Последний признак задаёт класс животных, к которому особь принадлежит (целочисленное значение от 1 до 7);
- 2) *kp-vs-kr* – содержит шахматные эндшпили типа король+ладья против король+пешка. Каждый атрибут описывает какую-либо особенность позиции (например, близость белого короля к черной пешке) и является номинальным. Целевой признак описывает класс: белые могут выиграть (win), или белые не могут выиграть (nowin);
- 3) *votes* – репозиторий включает бюллетени опросов (каждый состоял из 16 граф) респондентов, принадлежащих к двум политическим партиям (республиканцы и демократы). В данных присутствуют пропуски, которые были проинтерпретированы как шумы и дополнены случайными значениями; в остальном исходные данные содержат булевы признаки, которые удобно было представить в виде формального контекста. Обработанный набор представляет собой контекст $K = (G, M \cup C, I)$, где $|G| = 435$, $|M| = 16$ и $C = \{m_{class}\}$, $gIm \Leftrightarrow$ данные содержат “yes” для выбранного респондента g в графе m .

Для решения задач классификации были использованы алгоритмы *ClassifyInCluster* и *ClassifyOverClusters*. Для исследования точности (*Accuracy*) использовалась техника кросс-валидации [4], при которой исходные данные делятся на N равномерных частей, и каждая часть используется в качестве контрольной выборки, в то время как остальная часть – в качестве обучающего контекста. Оценка точности предсказаний *Accuracy* на каждой отдельной выборке равнялась отношению правильно предсказанных классификатором классов к общему количеству объектов в контрольной выборке за вычетом отказов от классификации. Итоговая оценка *Accuracy* равна средней оценке точности по всем итерациям.

4 Результаты классификации

Эксперимент по классификации состоял из двух частей: обучения и контроля. На этапе обучения были задействованы алгоритмы семантического вероятностного вывода [15] для получения множества статистически значимых правил. *StatConcepts* выявил множества статистических формальных понятий, а дальнейшая процедура классификации выполнялась алгоритмами *ClassifyInCluster* и *ClassifyOverClusters* из раздела 3. Для тяжелых вычислений, таких как поиск множества статистически значимых правил, были задействованы мощности Сибирского суперкомпьютерного центра [16].

Вся выборка разбивалась на N частей для использования техники Cross-Validation. Параметр N немного отличается для различных наборов данных; точное значение указано в таблице 1. В столбцах указаны наборы анализируемых данных, количество итераций с различными разбиениями исходного множества объектов на обучающее GT и контрольное GC, процент верно и неверно предсказанных классификатором объектов суммарно по всем итерациям.

Результаты приведены в виде двух таблиц. В таблице 1 указаны характеристики применения методов *ClassifyInCluster* и *ClassifyOverClusters* к различным наборам данных из репозитория UCI [14]. Сравнение с [7] сведено в таблицу 2, куда включены результаты точности альтернативных алгоритмов C4.5, ID3, TreeFCA из указанной статьи.

С целью изучения гибкости алгоритмов на репозитории *votes* [7] была проведена дополнительная серия экспериментов по изучению модификаций процедуры замыкания из раздела 3. Классификация включала в себя серию экспериментов, в течение которой

видоизменялось либо семейство используемых для классификации алгоритмов (выбирались разные процедуры *Closure* в алгоритме *ClassifyInCluster*), либо какие-то их параметры. Основным измеряемым показателем является точность предсказаний (*Accuracy*), а также количество отказов (*Declined*) алгоритма от прогнозов.

Таблица 1 – Протокол экспериментов по классификации методами *ClassifyInCluster* (In) и *ClassifyOverClusters* (Over) на репозиториях UCI

Репозиторий		Значения показателей		
		<i>zoo</i>	<i>kp_vs_kr</i>	<i>votes</i>
Метод		In	Over	In
Показатели	Итераций	101	20	42
	Объектов	101	1790	420
	Отказов	5%	25.98%	47.62%
	Верно	92%	60.50%	50.71%
	Неверно	3%	13.52%	1.67%

Таблица 2 – Точность различных алгоритмов на наборах данных из UCI

Репозиторий		Точность алгоритмов		
		<i>zoo</i>	<i>kp_vs_kr</i>	<i>votes</i>
Алгоритмы	ВФП	96.84%	81.74%	96.82%
	C4.5	92.69%	72.78%	86.50%
	ID3	95.04%	74.50%	89.28%
	TreeFCA	96.04%	74.65%	90.5%

Результаты экспериментов приведены на рисунке 1, где, в частности, видно, что алгоритмы обладают различными качественными свойствами, а результаты, полученные с их помощью, хорошо локализованы.

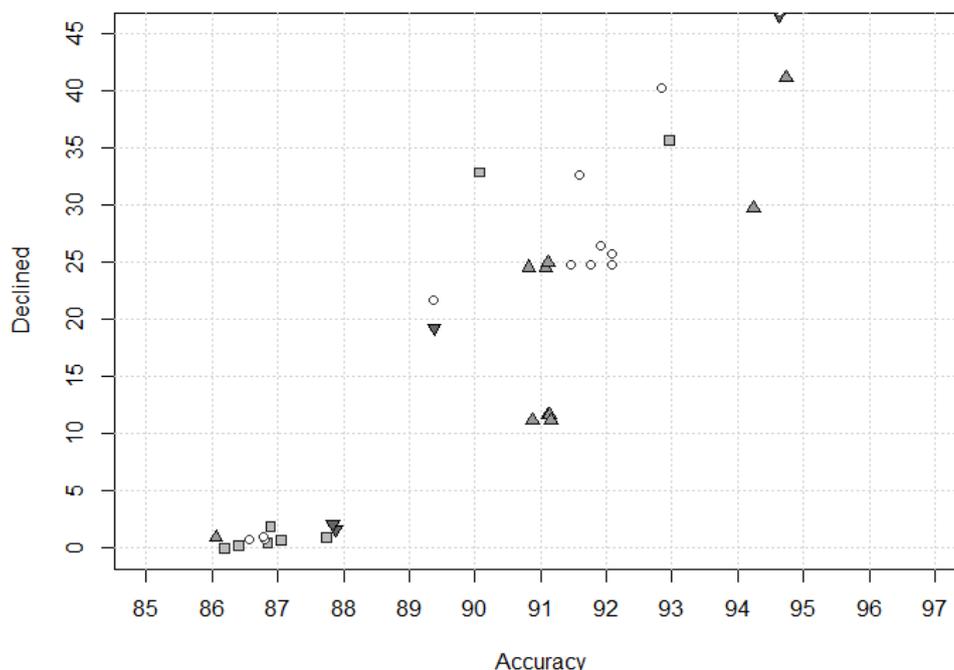


Рисунок 1 – Характеристики выполнения различных модификаций процедуры *Closure* при классификации данных *votes*: **▲** - эксперименты близкие к методу *ConcConcepts*; **▼** - эксперименты с применением метода *StatConcepts*; **■** - эксперименты смешанного метода с единичным весом противоречий; **○** - все остальные эксперименты

Заключение

Вероятностный подход к определению формальных понятий позволяет определить целое семейство алгоритмов кластеризации, смягчая проблему противоречивости логического вывода как для полностью определенных данных (формальных контекстов), так и для выборок из генеральной совокупности.

Алгоритмы классификации *ClassifyInCluster* и *ClassifyOverClusters*, построенные на основе статистических формальных понятий, позволяют успешно решать достаточно сложные задачи классификации, что было продемонстрировано на ряде наборов данных репозитория UCI, где они могут соперничать на равных с разработками АФП и классическими алгоритмами на основе решающих деревьев, имея в некоторых случаях ощутимое преимущество.

Статистические формальные понятия оказываются простыми в построении и полезными в прогнозировании. В то же время параметризация алгоритмов и их различные модификации обеспечивают необходимую гибкость при анализе данных. Заметна перспектива развития предлагаемого метода в рамках направления интеллектуального анализа данных: для этого следует провести более масштабные эксперименты, а также произвести интеграцию с уже существующими инструментами хранения и анализа данных.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ 15-07-03410.

Список источников

- [1] *Ganter, B.* Formal concept analysis. Mathematical Foundations / *B. Ganter, R. Wille.* - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. – 290 p.
- [2] *Kuznetsov, S.O.* Concept Stability as a Tool for Pattern Selection / *S.O. Kuznetsov* // ECAI 2014: CEUR Workshop proceedings. - 2014. - Vol. 1257. - P. 51-58.
- [3] *Klimushkin, M.* Approaches to the Selection of Relevant Concepts in the Case of Noisy Data / *Klimushkin, M., Obiedkov, S., Roth, C.* // ICFCFA 2010: LNAI. - 2010. - Vol. 5987. – P. 255-266.
- [4] *Prokashcheva, O.* Classification based on formal concept analysis and biclustering: Possibilities of the approach / *Prokashcheva, O., Onishchenko, A., Gurov, S.* // Computational mathematics and modeling. - 2012. - Vol. 23(3).
- [5] *Quan, T.T.* Fuzzy FCA-based Approach to Conceptual Clustering for Automatic Generation of Concept Hierarchy on Uncertainty Data / *Quan, T.T., Hui, S.C., Cao, T.H.* // CEUR Workshop proceedings, Belohlavek R., Snasel V. (Eds.). - 2004. - Vol. 110.
- [6] *Самойлов, Д.Е.* Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / *Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов* // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). - С. 317-339.
- [7] *Radim Belohlavek.* Inducing decision trees via concept lattices / *Radim Belohlavek, Bernard De Baets* UGent, Jan Outrata and Vilem Vychodil // International journal of general systems. - 2009. – P. 455-467.
- [8] *Витяев, Е.Е.* Вероятностное обобщение формальных понятий / *Е.Е. Витяев, А.В. Демин, Д.К. Пономарев* // Программирование. - 2012. - № 5. – С. 18-34.
- [9] *Витяев, Е.Е.* Формализация естественной классификации и систематики через неподвижные точки предсказаний / *Е.Е. Витяев, В.В. Мартынович* // Сибирские электронные математические известия. Новосибирск: Изд-во института математики СО РАН. - 2015. - Т. 12. – С. 1006-1031.
- [10] *Goodfellow, I.* Deep Learning / *Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A.* // MIT Press. 2016.
- [11] *LeCun, Y.* A Tutorial on Energy-Based Learning / *LeCun, Y. et al.* // Predicting Structured Outputs, *Bakir et al.* (eds). MIT Press. - 2006.
- [12] *Vityaev, E.E.* Transcription Factor Binding Site Discovery by the Probabilistic Rules / *E.E. Vityaev, K.A. Lapardin, I.V. Khomicheva, A.L. Proskura* // Proceedings of the 2nd workshop in data mining in functional genomics and proteomics.: The 18th European conference on Machine Learning and the 11th European conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases. - 2007. - P. 104-109.

- [13] Proceedings of the IEEE ICDM Workshop on Frequent Itemset Mining Implementations (FIMI'04) / eds.: Bayardo Jr., R., Goethals B., Zaki M. CEUR-WS.org. - 2004.
- [14] Репозиторий задач для методов Machine Learning. [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>
- [15] **Воронцов, К.В.** Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов / К.В. Воронцов // Математические вопросы кибернетики. Под ред. О.Б. Лупанова. - М.: Физматлит, 2004. - Т. 13. - С. 5-36.
- [16] Сибирский суперкомпьютерный центр. [Электронный ресурс]. URL: <http://www2.sccc.ru/HKC-30T/HKC-30T.htm>

PROBABILISTIC FORMAL CONCEPTS IN SOME CLASSIFICATION TASKS

Е.Е. Vityaev¹, V.V. Martynovich²

Sobolev institute of mathematics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

¹vityaev@math.nsc.ru, ²vilco@yandex.ru

Abstract

The definition of formal concepts as fixed points of implication is considered. On the basis of this definition, the notion of probability formal concepts is introduced by replacing implications with special, maximally specific probability rules for which it was previously proved that fixed points for them are logically consistent. The ProbClosure algorithm for detecting probabilistic formal concepts is defined. To develop algorithms for clustering and classification, the context is considered as a sample from the general population. Generalizing the algorithm ProbClosure, algorithms for clustering ConcClosure and StatClosure are defined by introducing various energy functionals that determine the degree of non-contradiction of the rules at a fixed point. Classification algorithms are obtained by applying clustering algorithms to new data. Classification algorithms obtained are compared with the decision trees C4.5, ID3 and the classification method based on the lattice of formal concepts. The comparison was made on the data of the UCI repository. The obtained results showed comparatively high accuracy of the developed algorithms in comparison with these methods.

Key words: *formal concept analysis, probability, data mining, associative rules, classification, UCI.*

Citation: *Vityaev EE, Martynovich VV. Probabilistic formal concepts in some classification tasks [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 473-486. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-473-486.*

References

- [1] **Ganter, B.** Formal concept analysis. Mathematical Foundations. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. – 290 p.
- [2] **Kuznetsov SO.** Concept Stability as a Tool for Pattern Selection. ECAI 2014: CEUR Workshop proceedings. 2014; 1257: 51-58.
- [3] **Klimushkin M, Obiedkov S, Roth C.** Approaches to the Selection of Relevant Concepts in the Case of Noisy Data. ICFCA 2010: LNAI 5987. 2010: 255-266.
- [4] **Prokashova O, Onishchenko A, Gurov S.** Classification based on formal concept analysis and biclustering: Possibilities of the approach. Computational mathematics and modeling. 2012; 23(3).
- [5] **Quan TT, Hui SC, Cao TH.** Fuzzy FCA-based Approach to Conceptual Clustering for Automatic Generation of Concept Hierarchy on Uncertainty Data. CEUR Workshop proceedings, Belohlavek R., Snasel V. (Eds.). 2004; 110.
- [6] **Samoilov DE, Semenova VA, Smirnov SV.** Incomplete data analysis of for building formal ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(3): 317-339.
- [7] **Belohlavek R, De Baets B, Outrata J, Vychodil V.** Inducing decision trees via concept lattices. International journal of general systems. 2009; 455-467.
- [8] **Vityaev EE, Demin AV, Ponomaryov DK.** Probabilistic Generalization of Formal Concepts [In Russian]. *Programming*. 2012; 38(5): 219–230.

- [9] **Vityaev EE, Martinovich VV.** Formalization of «natural» classification and systematics as fix-points of predictions [In Russian]. Siberian Electronic Mathematical Reports. Novosibirsk: IM SD RAS. 2015; 12: 1006-1031.
 - [10] **Goodfellow I, Bengio Y, Courville A.** Deep Learning. - MIT Press. 2016.
 - [11] **LeCun Y.** et al. A Tutorial on Energy-Based Learning. Predicting Structured Outputs, Bakir et al. (eds). - MIT Press, 2006.
 - [12] **Vityaev EE, Lapardin KA, Khomicheva IV, Proskura AL.** Transcription Factor Binding Site Discovery by the Probabilistic Rules. Proceedings of the 2nd workshop in data mining in functional genomics and proteomics.: The 18th European conference on Machine Learning and the 11th European conference on Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases. 2007; 104-109.
 - [13] Proceedings of the IEEE ICDM Workshop on Frequent Itemset Mining Implementations (FIMI'04) / eds.: Bayardo Jr., R., Goethals B., Zaki M. CEUR-WS.org. - 2004.
 - [14] Machine Learning repository. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>
 - [15] **Vorontsov KV.** Combinatorial approach to the quality of the learning algorithms estimation [In Russian]. Mathematical questions in kibernetics. (Ed.: O.B. Lupanov). - Moscow: Fizmatlit, - 2004; 13: 5-36.
 - [16] Siberian supercomputer center - URL: <http://www2.sccc.ru/НСК-30Т/НСК-30Т.htm>
-

Сведения об авторах



Витяев Евгений Евгеньевич, 1948 г. р. Окончил Новосибирский государственный университет в 1971 г., д.ф.-м.н. (2007). Профессор кафедры дискретной математики и информатики Новосибирского государственного университета. В списке научных трудов более 250 работ в области логики, интеллектуального анализа данных и искусственного интеллекта.

Vityaev Evgeny Evgenievich, born in 1948. He graduated the Novosibirsk State University in 1971, Doctor of Science (2007). Professor of the Department of Discrete Mathematics and Informatics at Novosibirsk State University. In the list of scientific works more than 250 works in the field of logic, data mining and AI.



Мартьянович Виталий Валерьевич, 1990 г. р. В 2016 г. окончил аспирантуру Новосибирского государственного университета. С 2017 г. младший научный сотрудник института математики СО РАН. В списке научных трудов около 10 работ в области дискретной математики, методов анализа данных и интеллектуальных систем.

Vitaly Valerievich Martynovich (b. 1990) post-graduated from the Novosibirsk State University PhD program in 2016. Junior researcher at SB RAS Institute of Mathematics from 2017. Author and co-author of about 10 scientific articles around discrete mathematics, Data Mining methods and intelligent systems.

УДК 004.93

FUZZY FORMAL CONCEPT ANALYSIS IN THE CONSTRUCTION OF ONTOLOGIES

V.P. Oficerov¹, S.V. Smirnov²

¹ *Moscow City University, Moscow, Russia*
OficerovVP@mgu.ru

² *Institute for the Control of Complex Systems of RAS, Samara, Russia*
smirnov@iccs.ru

Abstract

Formal Concept Analysis (FCA) is a rigorous mathematical theory in the “Data mining” research field. It advances the classical approach to the Concept as to a fundamental epistemic element which is determined by extent and intent. FCA is suitable for mining formal ontologies from the experimental data representing Domains of Interest (DI). In this sense Fuzzy FCA (FFCA) is an adaptation of the FCA to real nature of such information. The genesis study of fuzziness of the formal contexts is a new approach, which necessitates the inclusion of special stages of primary data processing into designing ontologies. It is shown that some of the reasons for this fuzziness are inherent in the technology of generating a formal context from experimental data. Other fuzziness factors were revealed during the morphological analysis of the basic empirical structure - the “objects-properties” table. Interpretation of additional information is possible on the basis of elementary methods of fuzzy inference. Lastly, variants of FFCA application for fuzzy ontologies are analyzed.

Key words: *formal concept analysis, formal context, formal ontology, incomplete source data, fuzzy inference, fuzzy concept.*

Citation: *Oficerov VP, Smirnov SV. Fuzzy Formal Concept Analysis in the construction of ontologies. Ontology of designing. 2017; 7(4): 487-495. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-487-495.*

Introduction

FCA [1] provides effective ways of solving the problem of automatic formation of conceptual structures, describing the DI, relevant for researchers, according to the classical principles of analytical philosophy and mathematic foundations.

[2] covers the issues of “objective” formation of primary *Formal Contexts* (FC) of the DI, required for FCA and, in particular, provides the solution of the problem description of structural relations between DI objects. The offered method of knowledge extraction from the empirical data allows the construction of non-uniform semantic networks, which well correspond to the modern vision of computer specifications of DI ontologies [3], which in turn allows naming this technology as *Ontological Data Analysis* (ODA).

ODA establishes the relation between classical data analysis [4] and FCA, basing on the standard point of view, that the experimental material representing DI has the form of the “*Objects-Properties*” Table (OPT). However, it is stated that any measurement can give the special result “None”. This result means that either the analyzed object and the measuring procedure are not semantically compatible, or that the measured value is outside of the sensitivity interval or the range of measuring equipment. On the other hand, in FCA similar effects are reached as a result of performance the cognitive procedure called “conceptual scaling” [1, 5]. Its essence is subjective splitting of ranges of measurement means for formation of new distinctive objects properties. Somehow or other, “None-conception” considerably changes a paradigm of the experimental data analysis, and OPT can be transformed in FC of DI.

A FC is a triple (G^*, M, I) consists of two finite set of objects G^* (an empirical samples) and set of properties M (the arsenal of measuring procedures which the researcher has), and a binary-relation I between the objects and the properties (i.e., $I \subseteq G^* \times M$). Each element $b_{ij} \in I$ is a truth value of the *Basic Semantic Proposition* (BSP) which has a form of “ g_i object has m_j property”, $g_i \in G^*, m_j \in M$.

FC contains by design three of the four main semantic abstractions - *classification, aggregation, association*. According to FCA the constructed FC generates the lattice of formal concepts, in which the ordering relationship implements the fourth semantic abstraction – *generalization* (“is a” relation) – as well.

In this way, ODA automates construction of ontologies on the basis of DI measurements. At the same time, practical problems show that the truth value of BSP is quite often vague, for example, it is formed by an expert, on the basis of experience and intuition. That’s why for the indication of validity BSP it is more natural to use the truth values entered by *fuzzy* or *multivalued* logics. Therefore one of real problems is the revision of FFCA use results [6-8] for construction of ontologies. For example in FFCA publications practically ignore the very important question on genesis of an of the input data fuzziness. Similar circumstances have induced to analyze sources, the description and the processing of fuzzy FC during construction of ontologies on the basis of the FCA.

1 Genesis of the FC fuzziness

According to traditional OPT methodologies the OPT lines correspond to the *objects* which were selected by the researcher during DI analysis (i.e. have formed the empirical sample of objects), and the OPT columns reflect the a priori equipment of the researcher in terms of the *measuring procedures*.

The arsenal of measuring procedures is formed by the researcher subjectively, according to a priori hypotheses about the existence of “simple” measurable properties (Hypotheses about the Properties - *PH*-hypotheses) of empirical objects, or about the participation of the empirical objects in structural relations (Hypotheses about the Structural relations - *SH*-hypotheses, $SH \cap PH = \emptyset$). At the same time in the general case, for the research of each *SH*-hypothesis the number of measuring procedures needs to be equal to the arity of the corresponding structural relation. However it is clear, that it is sufficient to limit the analysis by considering only binary relations between objects without impact on the correctness of the conceptual structures description. (We can notice that “simple” properties can be considered as unary relations; however in ODA properties and relations are strictly different. Moreover, the presence of relations between objects is treated as display of the object’s *inner properties* [2].)

Unlike the traditional applied data analysis which in fact proceeds from a priori consistency of all starting hypotheses $SH \cup PH$, ODA investigates the common case when the result **None** can be observed during the execution of any of the measuring procedures. It means that the result of the experiment was inconsistent with the corresponding hypothesis.

Such understanding of the initial DI data formation stage allows to derive an algorithm of FC construction which describes classes of empirical DI objects in terms of their heterogeneity, both by the structure of measurable properties, and by the ability to participate in structural relations:

1) Transform the OPT – matrix $A = (a_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$ - into the incidence matrix “Objects-Properties” $I = (b_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$:

$$b_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ if } a_{ij} \neq \mathbf{None}, \\ 0 \text{ in the opposite case.} \end{array} \right\}$$

- 2) Exclude from consideration *PH* and *SH* hypotheses which have turned out completely inconsistent in the selected set of empirical objects, which means remove zero columns from *I* (in case *SH*-hypotheses remove from *I* pairs of zero columns, corresponding to each hypothesis).
- 3) If zero lines are present in *I*, state the existence of a class of the unidentified objects in DI and introduce a posterior *PH*-hypothesis of existence of such class of objects. This is done by adding a new column to *I*, describing the incidence of the introduced special hypothesis and the class of unidentified objects.
- 4) If only one zero column of a pair of columns, corresponding to an *SH*-hypothesis is present in *I*, state (due to “one-way” confirmation of the *SH*-hypothesis) the existence of some special class of objects in DI, which are not represented in the empirical sample. This is fixed by adding a new line to *I*, describing the incidence of the newly introduced class of objects and *SH*-property, which is not validated by the input empirical material.

Step 2 of the algorithm reduces and steps 3 and 4 expand *I*. The resulting binary matrix which determines the sought FC, will have dimension $p \times q$, $1 \leq p \leq r + |SH|$, $1 \leq q \leq s + 1$.

1.1 The immanent fuzziness of a FC

The analysis of the ODA formal context construction algorithm allows to specify its three sources of fuzziness.

First of all, undoubtedly, step 4 of the algorithm describes only one action options of 2^{s-1} possible at formation of a line for the unidentified object. Strictly speaking, the incidence matrix *I* should be expanded not by one, but by 2^{s-1} lines which will be as a whole the “model” of incompleteness of the input empirical material, which is determined as fulfillment of step 4 precondition. Certainly, this decision is unreasonable.

If we allow using statements of fuzzy logic in ODA, the initial data incompleteness, considered in step 4 can be fixed as different grade of belonging of hypothetically allowable properties to the objects of the newly introduced class:

- for the *SH*-property, which is not confirmed by empirical material, the grade of belonging is set equal to 1;
- for all other $s - 1$ properties it is equal to 0.5.

Any measuring procedure can give special result “**Failure**” which means default of a task of measurement (breakdown, failure of measuring means, abstention at voting, etc.). This is second source of FC fuzziness. Detection of value **Failure** in OPT cell is reasonable for reflecting in corresponding FC element as the greatest fuzziness of relation “Objects-Properties”, i.e. 0.5.

At last, the internal reason of FC fuzziness can be application of fuzzy scales to the conceptual scaling for uniformity elimination of empirical sample G^* .

For example, if property m_j is exposed nominal scaling [5], then OPT column j “is split”, i.e. is replaced k ($k \geq 2$) columns which are compared with “base m_j -terms” of used conceptual scale. The result of measurement of m_j determines membership values to the m_j -terms entered by a conceptual scale. These values (in case of precise scales - from set $\{0, 1\}$, in case of fuzzy scales - from a segment $[0, 1]$) place in again formed columns of the OPT.

1.2 Extended view for the empirical OPT

Let us analyze the appearance of FC fuzziness which is caused by possible variations of the structure and contents of the input information about DI, taken as the extended view on the empirical OPT.

1.2.1 Presence of the data on repeated object measurements

Usually it is considered, that each measuring procedure, applied to the observed object delivers to OPT the single value a_{ij} . Generalizing this statement, it is possible to admit that OPT is a hypermatrix $A = (\bar{a}_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$, where $\bar{a}_{ij} = (a_{(ij)l})_{l=1, \dots, l_{ij}}$ is a vector of values which records the repeated measurements of property m_j of object g_i .

Then in view of told in subitem 1.1 the step 1 of the FC construction algorithm should be executed as follows:

- (1.a) Transform OPT - hypermatrix A to binary hypermatrix $I^{(h)} = (\bar{b}_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}$, where $\bar{b}_{ij} = (b_{(ij)l})_{l=1, \dots, l_{ij}}$ and

$$b_{(ij)l} = \left\{ \begin{array}{ll} a_{(ij)l}, & \text{if the column } j \text{ is the } m_j \text{ term,} \\ 0, & \text{if } a_{(ij)l} = \mathbf{None}, \\ 0.5, & \text{if } a_{(ij)l} = \mathbf{Failure}, \\ 1 & \text{in the opposite case.} \end{array} \right\}$$

- (1.b) Construction of the fuzzy relation “Objects-Properties” I uniting results of repeated properties measurements of objects. Hypermatrix $I^{(h)}$ contains these results as sets of independent estimations of the truth value for everyone BSP determined by this matrix. The fuzzy logic supposes various ways for combination of these estimations. We prefer a method of “amplification-averaging” - to a special case of combination on the basis of composite addition according to triangulated s -norm $x \oplus y = \min(1, x + y)$:

$$I = (b_{ij})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s}, \quad b_{ij} = \frac{1}{l_{ij}} \sum_{l=1}^{l_{ij}} b_{(ij)l}.$$

1.2.2 Considering the level of trust to sources

Commonly, all measuring procedures are by default considered as the set of authentic data sources about DI. It is easy to imagine a situation when the researcher differentiates his trust and supplies the OPT with a vector $(t_j)_{j=1, \dots, s}$, where $t_j \in [0, 1]$ - is the degree of belonging of measuring procedure j to the set of authentic sources.

The degree t_j is to combine with the truth value of BSP which was made by the source j . Among possible ways of fuzzy measures combination here we prefer composite multiplication according to triangulated t -norm $x \bullet y = xy$. Thus, the step 1 of the FC construction algorithm should be continued by the following transformation of the “Objects-Properties” relation:

- (1.c) $I \rightarrow I: b_{ij} := t_j b_{ij}$.

1.2.3 Plurality of substantially equivalent sources

A rather widespread practical approach in research is the use of several independent authentic sources for evaluating the same factor. It is obvious that this situation does not differ from analyzed above a case of repeated object measurements. As before for the complex estimation of the truth value of everyone BSP reasonable a method of “amplification-averaging”. Therefore the step 1 of the FC construction algorithm should be supplemented with one more transformation of the “Objects-Properties” relation:

- (1.d) $I \Rightarrow I: b_{i(J_m)} := \frac{1}{|J_m|} \sum_{j \in J_m} b_{ij}$,

where J_1, \dots, J_l is the sets of congruent column indexes of OPT, $J_n \cap J_m = \emptyset$ at $m \neq n$ ($m, n = 1, \dots, l$), $|J_m| \geq 1$.

Thus the number of columns of I decreases up to the value $s + l - \sum_{m=1}^l |J_m|$.

2 Fuzzy formal context processing

It's assumed that a special type of FCA is used for fuzzy FC procession – *fuzzy FCA* or *FFCA*. It's only partially true, because FFCA combines quite dissimilar group of methods:

- alpha-section method for fuzzy FC which used for crisp sets output into ODA [8];
- alpha-section method for fuzzy FC, when FC interprets as a complex of fuzzy properties each of which describes one of the fuzzy FC objects [8-10]. That one-sided preference for objects is used for fuzzy concept lattices construction, which can be considered as fuzzy ontologies “skel-etons”. Theoretically there is an alternative view, when preference is given to properties (that's why another name of this method is asymmetric threshold scheme);
- approach that uses fuzzy set closure operator [11]. This approach represents fuzzy FC as a whole (i.e. without preference for objects or properties) and doesn't use threshold. Today this complicated in theoretical and computational ways method arouses only academic interest because it generates huge amount of fuzzy concepts even for small-sized “sparse” fuzzy FC.

Let us take a detailed look on alpha-section fuzzy FC method variations.

2.1 Crisp ontologies output in ODA

The correspondence I of a FC fuzzy (as any fuzzy relation) can be decomposed by its crisp relations of level $\alpha \in (0, 1]$:

$$I = \cup_{\alpha \in (0, 1]} \alpha I^{(\alpha)},$$

$$b^{(\alpha)}_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ if } b_{ij} \geq \alpha; \\ 0 \text{ in the opposite case.} \end{array} \right\}$$

Every crisp (binary) relation $I^{(\alpha)}$, or α -approximation fuzzy relation I , clearly determines crisp FC in logical sense:

- all BSP of initial fuzzy FC are preserved;
- all BSP, which truth value doesn't reach α - chosen by user DI initial data confidence threshold, - are considered as false, the rest are considered as true.

ODA is limited by this well-defined method¹ and crisp ontology output from fuzzy FC alpha-section by classic FCA.

It is easy to show, that finite number of different DI crisp ontologies can be obtained by varying of α threshold in this fuzzy FC [7]. In this case, and with hardening or considerably easing requirements for BSP truth value, the impoverishment effect of ontology specifications – the amount of concepts reduction and defined in this concept set order degradation - can be theoretically predicted and experimentally approved.

2.2 Fuzzy concepts

According to the scheme of the asymmetric threshold the construction of crisp conceptual structure, which is considered to be the final result in ODA, is only the first stage. The second and final

¹ In fact, the application of the standard alpha-section procedure here is in general not correct because it does not take into account the relationship between the measured properties. Models of “*properties existence constraints*” (the term of [12]) and a correct heuristic alpha-section method are proposed in [13, 14].

stage of this method is the fuzzification of the created crisp formal concepts. Detected at the first stage partial order relation «*is a*» between the concepts remains crisp.

In the context of « α -crisp» FC $(G^*, M, I^{(\alpha)})$ a formal concept is defined by the volume $X \subseteq G^*$ and content $Y \subseteq M$, where $X' = Y$ and $Y' = X$, and «'» is a Galois operator [1]. Asymmetric threshold scheme prescribes to convert each found crisp formal concept (X, Y) into the fuzzy one with saving a crisp content, but with the reconstruction of fuzzy volume based on initial fuzzy FC (G^*, M, I) :

$$(X, Y) \rightsquigarrow (X_f, Y),$$

where X_f – is a fuzzy set with the universum X , such that for every $x \in X$ membership value to X_f is defined by the truth value of BSP conjunction for each Y - properties that make up the content of a fuzzy concept. Usually it is offered to evaluate this membership value by using the min-conjunction:

$$\mu(x \in X_f) = \mathbf{min}_{y \in Y} I(x, y).$$

It seems that protagonists of the scheme of the asymmetric threshold in FFCA make two diverse but related errors.

At first, the fundamental methodological error should be noted. The proposed method of constructing fuzzy concepts is positioned as data mining technique, but its result directly involves a training empirical selection of DI items! It's like to find in Newton's second law the weight of an apple fallen on his head!

Indeed, the obtained membership function of an arbitrary DI object to the volume of fuzzy concept (X_f, Y) is defined in the end only as parts of training sample – for $x \in X \subseteq G^*$. This means that, generally speaking, it is impossible to attribute an arbitrary object of investigated DI to the any of constructed fuzzy sets (i.e. to classify object). Equally it is impossible to use constructed concept system to describe an arbitrary DI object (i.e. to generate an information model of an object).

In general, it must be noted that this actively promoted approach to the construction of fuzzy ontology needs a radical development of ways to eliminate the influence of the training sample on the empirical data analysis result. In this sense, change of preference in asymmetry scheme in favor of DI properties seems to be more promising.

The second error of an asymmetric threshold scheme is the thesis that conjunction of BSP for all properties of fuzzy concept is a unique requirement of fuzzy concept definition. Calculation of an estimation of the truth value of specified BSP conjunction looks as unsuccessful attempt of empirical data generalization, which only masks the basic methodological problem of considered method FFCA. To recognize a similar estimation as the description of fuzzy concept, its calculation needs to be anticipated, at least, combination of BSP truth value on each property (here would be again reasonable to use a method of “amplification - averaging”).

3 About the practical application

We used elements of the approach, presented in the paper, in many cases where there was a need for structured object domains description in decision support applications, in particular:

- designing color scheme of UI elements of software tools in order to improve usability;
- designing ontology driven subject-oriented interface to large relational databases;
- determining target population groups during the formation of state social support programs;
- market research.

Unfortunately, corresponding examples are too big for the paper, but we can relate to the published result of car market research, based on users' preferences [15].

In any case, these heterogeneous examples are common due to well-defined input data characteristics. Opinions about object attributes were presented by expert focus groups, users or just non-

related persons, and this data was both complementing and contradictory. One source could contain much more data than the other, while customers trust was uneven to different sources. We found that in general case, the result of such consolidation is a fuzzy formal context, which is processed differently from the conventional one (but it reduces to the usual case).

Conclusion

- In the paper the need for using the fuzzy logic paradigm in the method of ontologies construction on the basis of Formal Concept Analysis has been proven.
- The morphological analysis of the possible extensions of the “Objects-Properties” Table - the standard form of the initial information about the object domain being researched, and the use of basic algorithms of fuzzy conclusions allowed to construct additional models of various situations which result in the formation of fuzzy Formal Contexts describing the researched domain of interest.
- Obtaining the intermediate result of the Ontological Data Analysis in the form of fuzzy Formal Context does not lead to the revision of the ontology construction method itself, based on principles of Formal Concept Analysis, but additionally demands making decisions about the value of trust to the input data threshold.
- The current approach to construction of fuzzy ontologies based on Formal Concept Analysis is criticized because of obvious methodological mistakes. The analysis of these mistakes allows us to hope for constructive development of a method of creating fuzzy conceptual structures.

References

- [1] **Ganter B, Wille R.** Formal Concept Analysis. Mathematical foundations. Springer Berlin-Heidelberg, 1999.
- [2] **Smirnov SV.** Ontological analysis of modeling domain [In Russian]. Bulletin of the Samara Scientific Center of RAS, 2001. 3(1): 62-70.
- [3] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. Int. J. of Human Computer Studies 1995; 43(5/6): 625-640.
- [4] **Zagoruyko NG.** Applied methods of data and knowledge analysis [In Russian]. Novosibirsk: Sobolev Institute of Mathematics, SB RAS, 1999.
- [5] **Ganter B, Wille R.** Conceptual scaling. In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. Springer-Verlag New York; 1989: 139-167.
- [6] **Pollandt S.** Fuzzy Concepts: Formal Concept Analysis of fuzzy Data [In German]. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- [7] **Smirnov SV.** Building knowledge domain ontologies with structural relationships based on Formal Concept Analysis [In Russian]. Proc. 3rd All-Russian Conf. “Knowledge-Ontologies-Theories” (Novosibirsk, Russia, October 3-5, 2011). Vol. 2. Novosibirsk: Sobolev Institute of Mathematics, SB of RAS; 2011: 103-112.
- [8] **Tho QT, Hui SC, Fong ACM, Cao TH.** Automatic Fuzzy Ontology Generation for the Semantic Web. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 2006; 18(6): 842-856.
- [9] **Yang KM, Kim EH, Hwang SH, Choi SH.** Fuzzy Concept Mining based on Formal Concept Analysis. Int. J. of Computers, 2008; 2(3): 279-290.
- [10] **De Maio C, Fenza LV, Senatore S.** Towards Automatic Fuzzy Ontology Generation // Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (Jeju Island, Korea, 2009, August 20-24): 1044–1049.
- [11] **Belohlavek R, De Baets B, Outrata B, Vychodil J.** Computing the lattice of all fixpoints of a fuzzy closure operator. IEEE Trans. on Fuzzy systems, 2010; 18(3): 546-557.
- [12] **Lammari N, Metais E.** Building and maintaining ontologies: a set of algorithms. Data & Knowledge Engineering, 2004; 48(2): 155-176.
- [13] **Oficerov VP, Smirnov VS, Smirnov SV.** Alpha-section of non-strict formal contexts in Formal Concept Analysis [In Russian]. Proc. of XVI Int. Conf. “Complex systems: Control and Modeling Problems” (Samara, Russia, 2014, June 30 – July 03). Samara: Samara Scientific Center of RAS; 2014: 228-244.
- [14] **Samoilov DE., Semenova VA, Smirnov SV.** Incomplete data analysis of for building formal ontologies [In Russian]. *Ontology of designing.* 2016; 6(3): 317-339.

- [15] *Vinogradov ID, Vitikh VA, Karpov VM, Moscalyuk AN, Smirnov SV*. Automobile marketing based on ontologies of user's needs. *Advances in Concurrent Engineering: Proc. of the 9-th ISPE Int. Conf. on Concurrent Engineering: Research and Applications* (Cranfield, United Kingdom, 2002, July 27-31). Eds.: R. Gonçalves, R. Roy, A. Steiger-Garção. Series Editor: B. Prasad. Balkema Publishers; 2002: 653-659.

НЕЧЁТКИЙ АНАЛИЗ ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОНТОЛОГИЙ

В.П. Офицеров¹, С.В. Смирнов²

¹ *Московский городской педагогический университет, Москва, Россия*
OficerovVP@mgpu.ru

² *Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия*
smirnov@iccs.ru

Аннотация

Анализ формальных понятий (АФП) – строгая математическая теория анализа данных, в которой отражен классический подход к понятию как к фундаментальному эпистемологическому элементу, определяемому объемом и содержанием. АФП пригоден для вывода формальных онтологий из экспериментальных данных, представляющих предметные области, и в этом смысле нечёткий АФП (НАФП) – адаптация метода к реальному характеру этой информации. Новым является исследование генезиса нечёткости формальных контекстов, что вызывает необходимость включения в орбиту вывода онтологий специальных этапов первичной обработки данных. Показано, что некоторые причины рассматриваемой нечёткости имманентны технологии порождения формального контекста из экспериментальных данных. Другие факторы этой нечёткости выявлены в ходе морфологического анализа базовой эмпирической структуры – таблицы «объекты-свойства». Показано, что интерпретация дополнительной информации возможна с помощью элементарных приёмов нечёткого вывода. С критических позиций проанализированы варианты применения НАФП для построения нечётких онтологий.

Ключевые слова: анализ формальных понятий, формальный контекст, формальная онтология, неполнота измерительной информации, нечёткий вывод, нечёткое понятие.

Цитирование: *Oficerov, V.P.* Fuzzy Formal Concept Analysis in the construction of ontologies / *V.P. Oficerov, S.V. Smirnov* // *Онтология проектирования*. – 2017. – Т. 7, №4(26). – С. 487-495. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-487-495.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Ganter, B.* Formal Concept Analysis. Mathematical foundations / *B. Ganter, R. Wille*. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. - 290 p.
- [2] *Смирнов, С.В.* Онтологический анализ предметных областей моделирования / *С.В. Смирнов* // *Известия Самарского научного центра РАН*. - 2001. - Т. 3, № 1. - С. 62-70.
- [3] *Guarino, N.* Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation / *N. Guarino* // *Int. J. of Human Computer Studies*. - 1995. - Vol. 43. No. 5/6. - P. 625-640.
- [4] *Загоруйко, Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний / *Н.Г. Загоруйко*. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1999. – 270 с..
- [5] *Ganter, B.* Conceptual scaling / *B. Ganter, R. Wille* // In: *F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences*. - New York Springer-Verlag, 1989. – P. 139-167.
- [6] *Pollandt, S.* Fuzzy-Begriffe: Formale Begriffsanalyse unscharfer Daten / *S. Pollandt*. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. – 146 p.
- [7] *Смирнов, С.В.* Нечёткие формальные контексты при построении онтологий на основе анализа формальных понятий: происхождение и использование / *С.В. Смирнов* // *Знания – Онтологии – Теории: Материалы Всероссийской конф. с международным участием ЗОНТ-2007 (14-16 сентября 2007 г., Новосибирск, Россия)*. Т. 2. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2007. - С. 17-25.

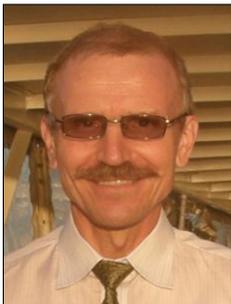
- [8] **Tho, Q.T.** Automatic Fuzzy Ontology Generation for the Semantic Web / Q.T. Tho, S.C. Hui, A.C.M. Fong, T.H. Cao // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. - 2006. - Issue 6, Vol. 18. - P. 842–856.
- [9] **Yang, K.M.** Fuzzy Concept Mining based on Formal Concept Analysis / K.M. Yang, E.H. Kim, S.H. Hwang, S.H. Choi // Int. J. of Computers. - 2008. – Issue 3, Vol. 2. – P. 279-290.
- [10] **De Maio, C.** Towards Automatic Fuzzy Ontology Generation / C. De Maio, L.V. Fenza, S. Senatore // Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (Jeju Island, Korea, 2009, August 20-24). - P. 1044–1049.
- [11] **Belohlavek, R.** Computing the lattice of all fixpoints of a fuzzy closure operator / R. Belohlavek, B. De Baets, B. Outrata, J. Vychodil // IEEE Trans. on Fuzzy systems. - 2010. - Issue 3, Vol. 18. – P. 546-557.
- [12] **Lammari, N.** Building and maintaining ontologies: a set of algorithms / N. Lammari, E. Metais // Data & Knowledge Engineering. – 2004. - Vol. 48(2). - P. 155-176.
- [13] **Офицеров, В.П.** Метод альфа-сечения нестрогих формальных контекстов в анализе формальных понятий / В.П. Офицеров, В.С. Смирнов, С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI междунар. конф. (30 июня - 03 июля 2014 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2014. - С. 228-244.
- [14] **Самойлов, Д.Е.** Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). - С. 317-339.
- [15] **Виноградов, И.Д.** Изучение автомобильного рынка на основе онтологий потребительских предпочтений / И.Д. Виноградов, В.А. Виттих, В.М. Карпов, А.Н. Москалюк, С.В. Смирнов // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2005. - № 1. - С. 2-7.

Сведения об авторах



Офицеров Владимир Петрович, 1953 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1975 г., к.т.н. (1982). Доцент кафедры прикладной информатики Московского городского педагогического университета, заместитель заведующего кафедрой по научной работе. В списке научных трудов более 70 работ в области прикладной математики, информационных технологий, прогнозирования развития сложных социально-технических систем.

Vladimir Petrovich Officerov (b. 1953) graduated from the Korolyov aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1975, PhD (1982). He is Associate Professor at Moscow City University (Department of applied computer science), Deputy Head of the Department for Research. He is co-author of about 100 scientific articles and abstracts in applied mathematics, information technology, forecasting the development of complex socio-technical systems.



Смирнов Сергей Викторович, 1952 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1975 г., д.т.н. (2002). Заместитель директора Института проблем управления сложными системами РАН, и.о. заведующего кафедрой «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 170 работ в области прикладной математики, компьютерного моделирования сложных систем, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений в технологических и организационных сферах.

Sergey Viktorovich Smirnov (b. 1952) graduated from the Korolyov aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1975, D. Sc. Eng. (2002). Deputy director at Institute for the Control of Complex

Systems of Russian Academy of Sciences, acting head of department Knowledge engineering of Povolzhsky State University of Telecommunication and Informatics. He is member of Russian Association of Artificial Intelligence. In the list of scientific works more than 170 works in the field of applied mathematics, complex systems simulation and development knowledge based decision support systems in control and management.

УДК 004.891:004.832.34

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ИЕРАРХИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Д.С. Парыгин¹, Н.П. Садовникова², О.А. Шабалина³, И.М. Корнеев⁴

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

¹dparugin@gmail.com, ²npsn1@yandex.ru, ³O.A.Shabalina@gmail.com, ⁴imkor34@mail.ru

Аннотация

Структуризация целей является ключевой проблемой в задачах управления социально-экономическими системами. Недостатком существующих подходов является отсутствие эффективных механизмов согласования целей всех заинтересованных сторон, участвующих в процессе формирования целевой иерархии. В работе сделана попытка объединить различные направления в рамках единого подхода к структуризации целей развития социально-экономических систем с учётом коллективного обобщения субъективных образов желаемого будущего. В рамках разработки подхода к коллективному формированию видения системы рассмотрена проблема извлечения и структурирования знаний. Идентификацию структуры связей в организационных системах предлагается проводить на основе разработанного алгоритма, формализующего этапы метода «Сократического диалога». Предлагается проводить оценку достижимости текущей цели с применением метода нечёткого иерархического оценивания. Новизна проведённого исследования заключается в объединении всех этапов формирования целевой иерархии в одном методе, позволяющем формализовать этапы идентификации системы, определения и согласования целей, а так же оценки их достижимости.

Ключевые слова: достижимость цели, организационные системы, Сократический диалог, нечёткое иерархическое оценивание, идентификация связей, структура иерархии целей, поддержка принятия решений.

Цитирование: Парыгин, Д.С. Формирование целевой иерархии в задачах управления организационными системами / Д.С. Парыгин, Н.П. Садовникова, О.А. Шабалина, И.М. Корнеев // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 496-509. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-496-509.

Введение

Ключевую роль в реализации системного подхода при изучении процессов управления сложными системами играет понятие «структуры целей», которое связано с упорядоченностью отношений, связывающих цели управления. Нет оснований предполагать, что существует универсальный подход к задаче формирования целей, т.к. разный уровень сложности и разные условия функционирования даже схожих по назначению систем предполагают наличие своих стратегий целеполагания. В отличие от технических систем, в основе которых лежат детерминированные закономерности, относящиеся к природным явлениям, в организационных (социальных, экономических, экологических) системах цели управления формируются и доопределяются по мере развития системы. Такие системы энтропийны и неповторяемы [1].

Проблема структуризации целей является одной из ключевых и определяет успешность планирования развития системы. Важно также понимать неоднозначность влияния различных факторов на достижение цели управления, а значит и на выбор управляющих воздействий. Для этого необходимы методы анализа связей и возможности достижения целей управления. На сегодняшний день не существует какой-либо устоявшейся

методологии для решения этих задач. В разных источниках описаны подходы, которые в той или иной мере позволяют установить причинно-следственные отношения между целями разного уровня. На самых первых этапах появления системного анализа этим вопросам уделялось особое внимание. Методики структуризации целей приведены в работах [2, 3] и многих других. В рамках программного-целевого подхода были разработаны процедуры формирования целевой иерархии, предложены специальные математические модели для планирования и управления развитием социально-экономических систем [4, 5].

Для поддержки процессов системного анализа и структуризации целей используются специальные методы моделирования. Следует отметить когнитивное моделирование, которое обеспечивает необходимый инструментарий для выявления, анализа и согласования различных мнений и представлений лиц, принимающих участие в управлении или планировании развития различных систем. Методология когнитивного моделирования была предложена Р. Аксельродом [6]. В России данное направление исследуется в Институте проблем управления РАН и других исследовательских центрах [7-10].

Другой подход основан на понятии конфаймент-модели [11, 12]. Одним из преимуществ конфаймент-моделирования (КМ) является возможность отсеять незначимые для решаемой задачи факторы и сосредоточиться на тех, которые действительно влияют на достижение сформулированной цели. В работах [13, 14] описано применение КМ для структурной идентификации систем. Кроме того, существуют подходы к формированию структуры целей для определённых типов систем. Так, например, проблема построения иерархии целей рассматривается в контексте задачи управления стратегическим развитием регионов [15, 16].

На наш взгляд, одна из существенных проблем известных методов структуризации целей состоит в отсутствии эффективных механизмов согласования целей всех заинтересованных сторон [17], имеющих свои субъективные замыслы о будущем. Ф. Полаком [18] было выдвинуто предположение, что образы будущего определяют реальный ход событий и способны оказывать активное воздействие на их течение. Анализируя образы будущего всех участников процесса, возможно выявить влияние на процесс не только действительности, но и потенциальных возможностей (см. также [19]).

В работе сделана попытка объединить различные направления в рамках единого подхода к структуризации целей развития социально-экономических систем, учитывая коллективное обобщение субъективных образов желаемого будущего.

1 Проблема извлечения и структурирования знаний для формирования целевой иерархии

В основе всех процедур целеполагания лежит фундаментальное понимание предназначения социально-экономических систем. Такое понимание строится на знании протекающих в системах процессах, субъектно-объектных отношениях, границах влияния, используемых ресурсах и т.д. Однако соответствующие знания не есть нечто данное и требуют применения специальных подходов к их извлечению.

В арсенале инженерии знаний [20] наработан широкий спектр методов извлечения знаний, которые на верхнем уровне принято делить на коммуникативные и текстологические (например, [19]). Коммуникативные методы охватывают процедуры контактов с экспертами, как непосредственными источниками знаний, а текстологические включают методы извлечения знаний из документов или специальной литературы. Коммуникативные методы подразделяют на пассивные, в которых агрегированные знания или рассуждения эксперта протоколируют во время его реальной работы по принятию решений, и активные. При активной коммуникации эксперт или группы экспертов постоянно включаются во

взаимодействие посредством игр, диалогов, бесед за круглым столом и других способов для интенсификации, конкретизации и/или корректирования направления выявления скрытых или обширных знаний.

Элементы активных методик должны включать лучшие практики универсального группового взаимодействия и вовлечения экспертов разного уровня и профиля подготовки, формировать замкнутую на цели исследования диалоговую среду с открытыми вопросами, источниками которых является само проблемное поле. Инженер по знаниям или модератор должны нивелировать эмоциональную или ранговую псевдозначимость, акцентируясь на содержательной части суждений.

Рассматриваемая проблематика должна быть представлена материалами-триггерами, основное предназначение которых, безотносительно к степени их полноты, заключается в запуске и стимулировании ответов экспертов, обращении к глубинным пониманиям конкретным человеком сути проблемы. Триггеры могут представлять собой структурированные схемы, произвольные рисунки, диаграммы, архивные и новостные данные, специальные тексты и/или другие носители знаний.

Учитывая специфику задачи формирования целевой иерархии, необходимо принимать во внимание высокий уровень субъективности мнений экспертов и наличие существенных ценностных противоречий. В связи с этим появляется потребность, с одной стороны, повысить объективность получаемых знаний, а с другой - избежать навязывания искусственных структур представлений. Для этого предлагается использовать методы извлечения знаний, учитывающие не только оценки текущего состояния системы, но и прогностические модели желаемого будущего. При этом подразумевается возможность определения генеральной цели системы с точки зрения её пользы как общественного института. В этом случае согласование целей осуществляется с учётом генеральной цели. В контексте данного исследования процесс согласования частных и генеральных целей будем называть *объективацией*. Трактовка данного понятия подразумевает «приобретение чем-либо внешней, объективной формы существования» [21]. Таким образом, объективная форма желаемого состояния системы в целом формируется с учётом коллективного обобщения субъективных образов желаемого будущего.

2 Метод формирования целевой иерархии

Информационная и структурная сложность социально-экономических систем, обусловленная действием разнородных факторов и различными условиями функционирования, не позволяет сформулировать единый принцип формирования структуры целей. Тем не менее, всегда существует возможность идентифицировать проблемы развития системы на основе анализа различных показателей, которые характеризуют её состояние. Наиболее значимые показатели могут быть определены как целевые.

В процессе идентификации системы рассматривается задача целеполагания, решение которой включает выполнение ряда последовательных этапов:

- 1) определение границ системы;
- 2) анализ проблем;
- 3) определение нарративных целевых установок, характеризующих мотивы действий стейкхолдеров;
- 4) определение генеральной цели идентифицируемой системы, определяющей существование системы как общественного института, направленного на организацию коллективных действий для максимизации общественного блага.

Решение этих четырёх задач позволяет описать систему за рамками формальных организационных структур, учесть коллективное представление о сущности системы, её роли в решении задач социума.

Следующим определяющим этапом является структурная идентификация системы. Необходимо сформировать набор наиболее важных факторов, влияющих на достижение цели, установить взаимосвязи и приоритеты. В результате будет получена модель системы в виде целевой иерархии, которая является основой для реализации процессов управления.

Предлагаемый подход может быть представлен рядом этапов (рисунок 1).

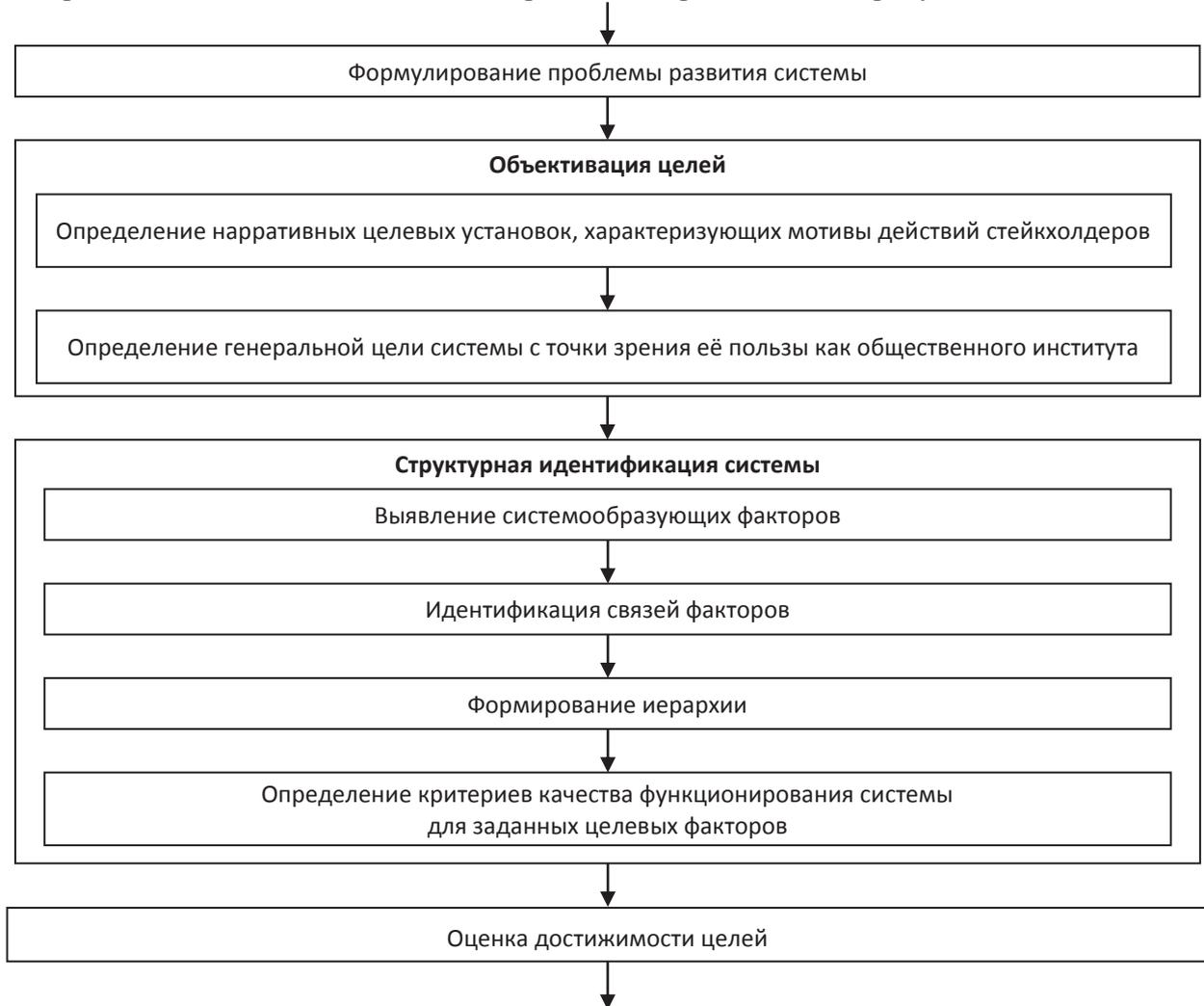


Рисунок 1 – Метод формирования целевой иерархии

3 Метод структурной идентификации организационных систем на основе Сократического диалога

На данном этапе необходимо сформировать набор наиболее важных факторов, влияющих на достижение цели, установить взаимосвязи и приоритеты.

При формализации задач развития социально-экономической системы с целью идентификации структурных связей необходимо использовать мнение специалистов, которые представляют различные социальные, профессиональные, политические сообщества и группы интересов. Для этого необходима специальная дискуссионная среда,

обеспечивающая единый формат обработки информации, процедуры проверки и согласованных решений. Данная деятельность может быть организована в рамках *экспертсорсинга*. Под *экспертсорсингом* понимается организованное в сетевом обществе экспертное обеспечение государственной, муниципальной, корпоративной и общественной деятельности [22].

Работа экспертов предполагает активное участие в процессе выработки решений по конкретным вопросам. Например, в отношении городской проблематики это подразумевает формирование сообществ по интересам, во главе которых находятся специалисты-практики ориентированные на продвижение определённых идей, связанных с развитием города.

С точки зрения сетевых механизмов такие сообщества организуются при помощи выделенных ресурсов или в рамках инструментов социальных Интернет-сетей (группы, публичные страницы, мероприятия). Такие объединения в социальной сети создают концентрированный поток тематической информации. На основе анализа групповой активности можно определить круг пользователей, способных привести наибольший эффект при конструировании специализированных экспертных групп [23]. Учёт профильных экспертных сообществ позволяет в дальнейшем перейти к формированию междисциплинарных экспертных объединений [24].

В предлагаемом двухуровневом подходе для организации взаимодействия в экспертных группах используется парадигма «Сократического диалога» [25], применение которой:

- способствует организации интенсивной групповой работы экспертов;
- имеет обозримые временные рамки одного исследовательского цикла, напрямую связанные с объёмом анализируемой информации и численностью членов рабочей группы;
- не несёт ограничений на диапазон практических и теоретических знаний, а также ценностные ориентиры, которыми обладают члены рабочей группы;
- нивелирует эмоциональные и поведенческие аспекты групповой работы, сохраняя ценность различий в представляемых мнениях.

Использование идеи «Сократического диалога» позволяет активировать внутренние механизмы восприятия существа проблемы у представителей различных точек зрения. Данный способ диалогической обработки открытых вопросов применяется для работы с исходными данными о рассматриваемой проблеме, которые могут быть представлены в виде текстовой информации. Под текстом в данном случае понимается базовая (смысловая, содержательная) составляющая любого информационного потока. Процесс диалога сочетает варьируемый по составу набор практик, направленных как на решение частных задач обработки информации, так и на аналитическую деятельность, связанную с исследованием различных аспектов решаемой проблемы, формированием соответствующих тезисов и интерпретаций.

Организацию диалога осуществляет ведущий рабочей группы, который с помощью циклов открытых вопросов, основанных на мнении участников, формирует ход дискуссии и управляет процессом вывода конечного результата в виде набора концептов – формулировок для показателей, характеризующих исследуемую проблему. Формализованное представление процесса проведения подобного диалога показано на рисунке 2. Предлагаемый метод состоит из следующих этапов:

- 1) формулировка общей цели, которая определяет направления работы, и ознакомление с требованиями к конечному результату;
- 2) ознакомление с исходными данными, которые предоставляются в виде текстовых или медиа материалов (от специальных отраслевых документов до новостных сообщений или частных высказываний с описанием проблемной области и т.п.);

- 3) первичная структуризация информации об исследуемой системе посредством формирования выборки вопросов для обсуждения, которые определяют базовые направления дискуссии и характеризуются специализацией экспертов;
- 4) определение исходного набора искомых концептов путём фиксации ответов группы по базовым направлениям, которые были выявлены на предыдущем этапе;
- 5) учёт несогласованных позиций по искомым показателям системы – выявление расхождений по качественным формулировкам или количественным оценкам;
- 6) формирование обобщённого мнения по несогласованным позициям – процедура многоступенчатого прояснения выявленных противоречий посредством диалога в экспертной группе, проводимого по специальному алгоритму;
- 7) расчёт итоговой количественной оценки для согласованных показателей – если для выявляемых концептов требуется получение значений весов, трендов и т.п., то находится среднее арифметическое выставленных экспертами оценок по каждому из сформулированных и одобренных концептов.

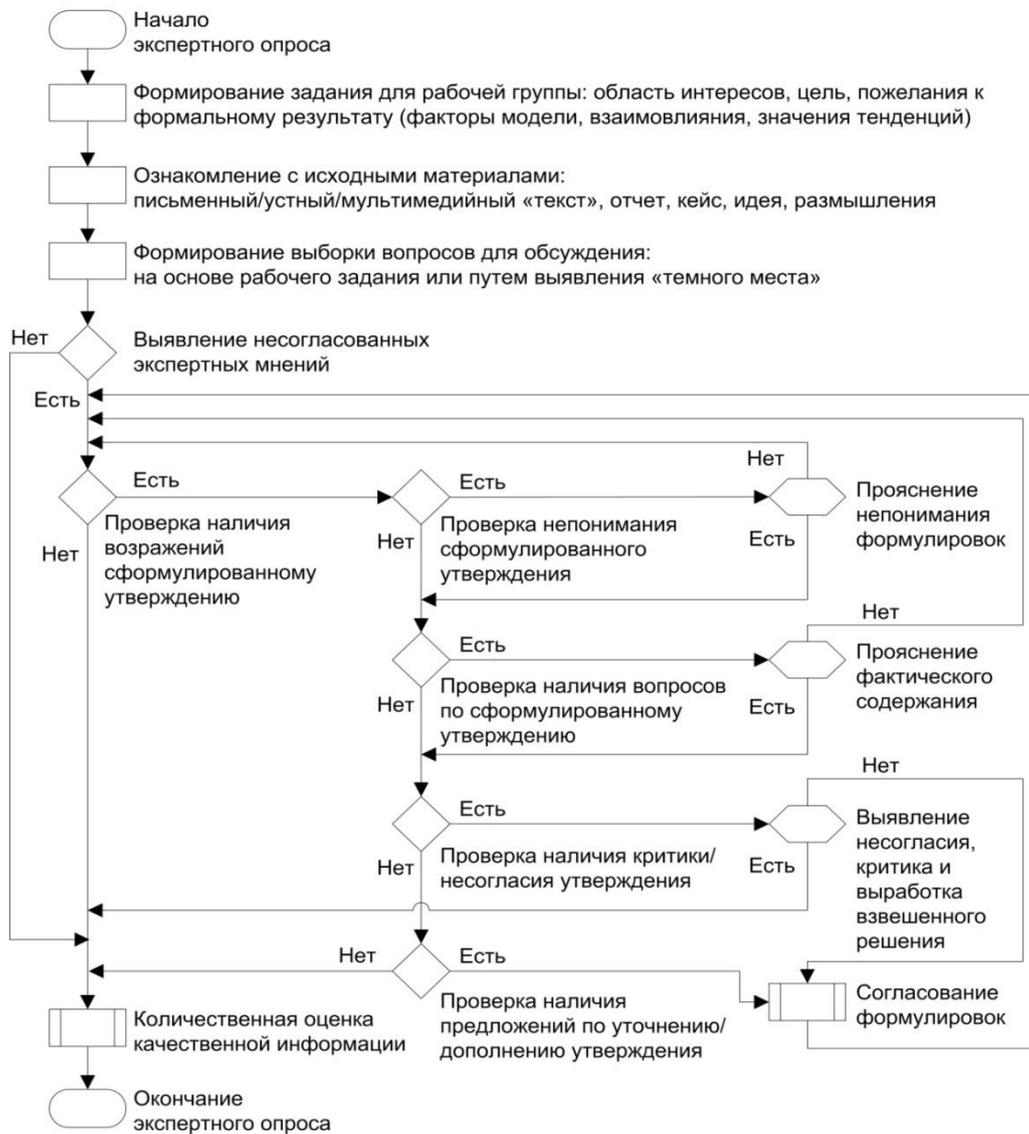


Рисунок 2 – Алгоритм идентификации структурны связей в сложных системах на основе Сократического диалога

Особенностью алгоритма, реализующего разработанный метод, является возможность настройки глубины анализа тезисов, выдвигаемых экспертной группой. Кроме того, могут быть использованы механизмы «ручного управления», которые обеспечивают дополнительную проработку ключевых аспектов проблемы.

4 Метод оценки достижимости текущей цели

Оценка достижимости может быть реализована для любой цели, входящей в иерархию. Для решения этой задачи применён метод нечёткого иерархического оценивания [26], который позволяет учитывать высокий уровень неопределённости данной задачи. В основе метода лежит принцип обобщения Заде [27]. Данный принцип применён для преобразования аналитической модели таким образом, чтобы в качестве её параметров можно было использовать нечёткие числа.

Входными данными метода являются:

- структура взаимосвязей между показателями Q_1, \dots, Q_L и характеристиками (ресурсами системы) X_1, \dots, X_n в виде функционально взвешенного графа $G=(Q, X, R, E, \Phi)$, где Q – множество вершин графа, совпадающее с множеством целей (непосредственно влияющие на цель характеристики находятся на уровне $V_2 = \{X_{k1}, \dots, X_{kp}\}$); X – множество вершин графа, совпадающее с множеством характеристик; $R=\{(Q_l, X_k)\}$ – множество дуг, причём $(Q_l, X_k) \in R$ тогда и только тогда, когда значение q_l цели Q_l непосредственно зависит от значения характеристики x_k характеристики X_k ; $E=\{(X_i, X_j)\}$ – множество дуг, причём $(X_i, X_j) \in E$ тогда и только тогда, когда значение x_i характеристики X_i непосредственно зависит от значения характеристики x_j характеристики X_j ; $\Phi=\{f_i\}$ – множество функций связи между характеристиками системы: $x_i = f_i(x_{i1}, \dots, x_{it})$, где $\Gamma_{X_i} = \{X_{i1}, \dots, X_{it}\}$ – множество вершин графа G , в которые ведут дуги из вершины X_i ; $q_l = f_l(x_{k1}, \dots, x_{kp})$, $l = [1, L]$;
- уровни иерархического разбиения вершин графа V_1, \dots, V_m , так что $\Gamma_{X_i} = \emptyset$ для всех $X_i \in V_m$, $\Gamma_{X_i}^{-1} = \emptyset$ для всех $x_i \in V_2$ и дуги ведут из вершин уровней с меньшими номерами в вершины уровней с большими номерами;
- требования к целям, которые заданы в виде нечётких множеств $Q_l = \{(q_l, \mu_{Q_l}(q_l))\}$;
- возможности реализации различных характеристик $X_j \in V_m = \{X_{j1}, \dots, X_{jm}\}$ нижнего уровня графа G – в виде нечётких множеств $X_j = \{(x_j, \mu_j(x_j))\}$.

Формальная постановка задачи может быть описана формулой (слева от вертикальной черты расположены известные величины, а справа – неизвестные):

$$(1) \quad \{G(Q, X, R, E, \Phi), V, \mu_i(x_i), \mu_l(q_l) \mid \hat{q}, \hat{x}\},$$

где G – функционально взвешенный граф;

Q – множество целей;

X – множество характеристик;

R – множество дуг, связывающих цели и характеристики;

E – множество дуг, связывающих характеристики;

Φ – множество функций связи, описывающих связи между целями и характеристиками, а также между характеристиками;

V – уровни иерархического разбиения;

$\mu_i(x_i)$ – возможность достижения значения характеристики x_i ;

$\mu_l(q_l)$ – степень желательности достижения цели;

\hat{q} – степень достижимости цели;

\hat{x} – множество оптимальных требований к характеристикам.

Задача определения оптимальных требований к целям и к характеристикам системы имеет вид:

$$(2) \quad \mu_{Q_1}(q_1) \wedge \dots \wedge \mu_{Q_L}(q_L) \wedge \mu_{j_1}(x_{j_1}) \wedge \dots \wedge \mu_{j_m}(x_{j_m}) \rightarrow \mathbf{max},$$

$$(3) \quad q_l = Q_l(x_{k_1}, \dots, x_{k_p}), l = [1, L],$$

$$(4) \quad x_i = f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_t}), \Gamma_{x_i} = \{X_{i_1}, \dots, X_{i_t}\}, X_i \in V_1 \cup \dots \cup V_{M-1}.$$

Функция принадлежности для всех $X_i \notin V_m$ определяется из принципа обобщения Л. Заде:

$$(5) \quad \mu_i(x_i) = \max_{x_{i_1}, \dots, x_{i_t} : x_i = f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_t})} \mu_{i_1}(x_{i_1}) \wedge \dots \wedge \mu_{i_t}(x_{i_t}), x_i \in R^1,$$

где $x_i = f_i(x_{i_1}, \dots, x_{i_t})$,

$$a \wedge b = \mathbf{min}(a, b).$$

Аналогично определяется функция принадлежности для целей:

$$(6) \quad \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l) = \max_{x_{k_1}, \dots, x_{k_p} : q_l = Q_l(x_{k_1}, \dots, x_{k_p})} \mu_{k_1}(x_{k_1}) \wedge \dots \wedge \mu_{k_p}(x_{k_p}), q_l \in R^1.$$

Значение степени достижимости цели будет получено из (7)

$$(7) \quad \mu_{PQ_i}(q_i) \wedge \mu_{Q_i}(q_i) \rightarrow \mathbf{max}.$$

Каждая из вершин, не принадлежащих нижнему уровню, также может являться целью, но уже для системы меньшей размерности. Нижние характеристики – сущности, уже не поддающиеся детализации, являются, как правило, ресурсами, которые необходимы для достижения цели.

5 Пример применения метода формирования целевой иерархии

Рассмотрим реализацию данного подхода на примере структурной идентификации целей развития транспортной системы Волгограда. В рамках генеральной цели Q – повышение качества транспортной системы города - экспертам была поставлена задача идентификации связей показателей в системе городского транспорта с учётом специфики Волгограда. На начальном этапе участникам были предложены материалы, которые отражают текущее состояние и перспективы развития отрасли в городе. Например, такие документы как государственная программа развития транспортной системы региона [28], в которых описаны действующие на уровне города, региона и страны подходы к регулированию транспортной политики, характеристики существующих условий и предстоящих событий (в частности, предстоящие матчи Чемпионата мира по футболу 2018).

При первичной структуризации знаний экспертами были сформулированы четыре базовых вопроса к исследуемой системе:

- 1) как учитывать пассажиропотоки в городе;
- 2) как повысить эффективность общественного транспорта;
- 3) как регулировать использование личного автотранспорта;
- 4) какова связь показателей транспортной системы и городского развития в целом.

Задача идентификации системы в исследуемом случае решалась за три итерации с повторением 4-6 этапов представленного в разделе 3 метода анализа экспертной информации. На первой итерации (на основе ответов экспертов на обозначенные вопросы)

был определён исходный набор показателей, влияющих на качество транспортной системы. На основе анализа несогласованных позиций были исключены показатели с низкой релевантностью к рассматриваемой проблематике и устранены повторы. В итоге был согласован набор из двадцати шести показателей, которые описывают систему городского транспорта [29]:

- x1 – надёжность;
- x2 – эффективность;
- x3 – безопасность;
- x4 – комфортность;
- x5 – удовлетворенность спроса на услуги городского пассажирского транспорта;
- x6 – доля пользователей городского пассажирского транспорта в общем пассажиропотоке;
- x7 – себестоимость перевозок;
- x8 – технологическая безопасность;
- x9 – экологическая безопасность;
- x10 – транспортная доступность;
- x11 – среднее время перемещения пассажира до остановки;
- x12 – информированность пассажира;
- x13 – среднее количество пересадок;
- x14 – качество обслуживания;
- x15 – регулярность;
- x16 – наполняемость салона;
- x17 – состояние подвижного состава;
- x18 – доля экологически безопасного транспорта;
- x19 – доля затрат бюджета на экологическую безопасность;
- x20 – плотность маршрутной сети;
- x21 – качество управления;
- x22 – тарифы на проезд;
- x23 – доля затрат бюджета на городскую транспортную систему;
- x24 – квалификация водителей;
- x25 – качество дорожно-транспортной инфраструктуры;
- x26 – уровень организации дорожного движения.

На второй итерации экспертами непосредственно решалась задача идентификации связей для выявленных показателей системы. Первоначально были получены все возможные (по мнению экспертов) комбинации связей. Из них были отобраны связи, выбранные всеми экспертами. Для остальных связей вопрос о включении в модель иерархии решался на основе следующих правил:

- 1) связь включается, если более 60% экспертов идентифицировали её, и разница в оценке силы влияния незначительна;
- 2) связь включается, если её идентифицировали 60 и более процентов экспертов с разницей в оценке позитивного/негативного влияния 60 и более процентов в одну из сторон (такие взаимосвязи автоматически согласованы с учётом мнения большинства);
- 3) связь проходит дополнительную процедуру согласования, если несогласованность в идентификации составляет 40-60%;
- 4) связь исключается из рассмотрения, если её идентифицировали менее чем 40% экспертов.

По итогам второй итерации было идентифицировано сорок восемь связей показателей в структуре системы городского транспорта. Для этих согласованных экспертной группой

взаимосвязей были автоматически рассчитаны итоговые количественные оценки силы взаимовлияния.

Третья итерация позволила оценить и согласовать представления экспертов об иерархии связей и получить модель целевой иерархии (рисунок 3).

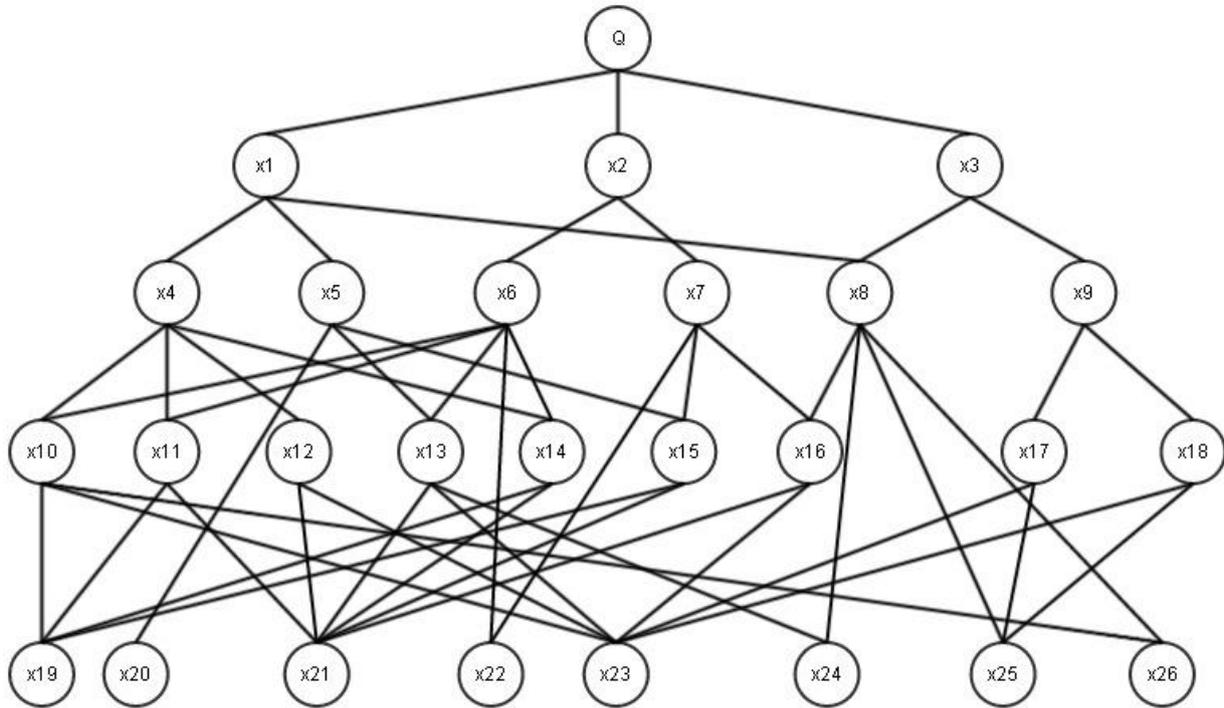


Рисунок 3 – Целевая иерархия транспортной системы города

Как было отмечено, задача оценки достижимости цели может быть решена для каждой из вершин иерархии, кроме нижнего уровня. Оценки достижимости для целей верхнего уровня приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценки достижимости целей

Идентификатор	Название	Оценка достижимости
x1	надёжность	0,36
x2	эффективность	0,52
x3	безопасность	0,54

Заключение

Предложенный подход позволяет формировать целевую иерархию с учётом коллективного обобщения субъективных образов будущего. При этом обеспечивается возможность согласования целей заинтересованных сторон. Объединение преимуществ различных технологий извлечения знаний позволяет существенно снизить субъективность процедуры анализа изучаемой системы. Построение структуры целей с учётом их влияния друг на друга и на генеральную цель позволяет обрабатывать исходную информацию и определять степень достижения каждой цели при учёте ограничений на характеристики входящих в систему средств. Программная реализация предложенных методов позволит повысить эффективность принятия решений на этапах концептуализации проблем управления организационными системами.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-07-00353_а, № 16-07-00388_а.

Список литературы

- [1] *Давтян, А.Г.* Динамическое целеполагание в социально-экономических системах / А.Г. Давтян, О.А. Шабалина, Н.П. Садовникова, Д.С. Парыгин, Д.А. Еркин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М. : Издательский дом «Спектр», 2016. – № 11 (ноябрь). – С. 46–53.
- [2] *Кульба, В.В.* Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.
- [3] *Анфилатов, В.С.* Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
- [4] *Поспелов, Г.С.* Программно-целевое планирование и управление : Введение / Г.С. Поспелов, В.А. Ириков. – Москва: Сов. радио, 1976. – 440 с.
- [5] *Поспелов, Г.С.* Проблемы программно-целевого планирования и управления / Г.С. Поспелов [и др.]. – М.: Наука, 1981. – 461 с.
- [6] *Axelrod R.* Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton: University Press; 2015. – 422 p.
- [7] *Максимов, В.И.* Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций / В.И. Максимов // Проблемы управления. – 2005. – № 3. – С.30-38.
- [8] *Авдиенко, Н.В.* Проблема комплексных исследований и когнитивного моделирования устойчивого развития социально-экономической системы / Н.В. Авдиенко, Г.В. Горелова // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2004. – Т. 39. – № 4. – С. 172-177.
- [9] Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: материалы 1-й международной конференции / под ред. В.И. Максимова; Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – М.: ИПУ, 2001. – 196с.
- [10] *Барabanова, Е.А.* Дискретное имитационное моделирование алгоритма организации очереди в буфере маршрутизатора / Е.А. Барabanова, И.А. Береснев // Научный вестник НГТУ. – 2015. – Т. 58. – № 1. – С.135–148.
- [11] Конфайнмент-моделирование – <http://www.gagin.tv/index.php?page=9/>.
- [12] *Gagin, T.* Manual Guide for the Confinement Modeling / T. Gagin, S. Borodina, A. Kelyin. – <http://www.gagin.tv/files/texts/Confinement-guide.pdf>.
- [13] *Попов, Д.В.* Математическое и программное обеспечение конфайнмент-моделирования сложных систем / Д.В. Попов, С.Ю. Поляковский, Н.Н. Мухачева // Принятие решений в условиях неопределенности: межвуз. науч. сб. – Вып. 4. – Уфа: УГАТУ, 2007. – С. 19–26.
- [14] *Козлов, Д.В.* Генерация OWL-онтологии на основе конфайнмент-модели / Д.В. Козлов, И.Г. Жукова, М.Б. Кульцова, Д.В. Литовкин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 6 (163). – С. 58–65.
- [15] *Соломатин, А.Н.* Формирование структуры целей в стратегическом управлении регионом / А.Н. Соломатин // Матер. 8-ой междунар. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем MLSД'2015», Москва, 29.09-01.10.2015 г. – ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН, 2015. – С. 158–161.
- [16] *Шеховцева, Л.С.* Управляемое развитие региона: стратегическое целеполагание: Монография. – Калининград : Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005. – 354 с.
- [17] *Виттих, В.А.* Прологомены к эвергетике / В.А. Виттих // *Онтология проектирования*. – 2015. - Т.5, №2(16). - С.135-148. - DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.
- [18] *Polak, F.* The Image of the Future / F. Polak. – Elsevier, 1973. – 320 p.
- [19] *Куприянычева, Э.Б.* Мечты студентов как составляющая проектирования будущего страны /Э.Б. Куприянычева // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №2(20). - С. 231-240. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-231-240.
- [20] *Кульцова, М.Б.* Инженерия знаний: учеб. пособие / М.Б. Кульцова, И.Г. Жукова, Д.В. Литовкин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 94 с.
- [21] Энциклопедия эпистемологии и философии науки. – https://epistemology_of_science.academic.ru.
- [22] *Райков, А.Н.* Экспертный триптих / А. Н. Райков // Управление мегаполисом. – 2011. – № 4. – С. 57-66.
- [23] *Sadovnikova, N.P.* Organization expertsourcing procedures for information and analytical support the tasks of strategic planning development of the city / N.P. Sadovnikova, Yu.D. Kireeva // Internet-Vestnik VolgGASU. – 2014. – No. 12 (36) – P 1-6.

- [24] **Мурунов, С.** Право на город. Серия 25 / Свят Мурунов // Лекторий «Городских проектов». 10.03.2015. – https://city4people.ru/projects/posts/posts_302.html.
- [25] Dedicated to Advancing the Use of the Socratic Method // Socratic Method Research Portal. – <http://www.socraticmethod.net/> 1.
- [26] **Макеев, С.П.** Согласование целей развития больших технических систем с возможностями реализации их характеристик при нечёткой исходной информации / С.П. Макеев, В.В. Пицык, В.А. Полуденко // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика. – 1991. – № 5. – С. 124–132.
- [27] **Заде, Л.А.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
- [28] Об утверждении Государственной программы Волгоградской области «Развитие транспортной системы Волгоградской области», 2014-2017 (с изменениями и дополнениями): Указ N 27-п // Постановление Правительства Волгоградской области от 5 февраля 2014 года.
- [29] **Sadovnikova, N.P.** Models and methods for the urban transit system research / N. Sadovnikova, D. Parygin, M. Kalinkina, B. Sanzhapov, Trieu Ni Ni // CIT&DS 2015 : Proceedings of the First International Conference on Creativity in Intelligent Technologies & Data Science, Volgograd, Russia, 15–17 September 2015. – Springer IPS, 2015. – CCIS 535. – P. 488–499.
-

FORMATION OF AN OBJECTIVES HIERARCHY IN TASKS OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS MANAGEMENT

D.S. Parygin¹, N.P. Sadovnikova², O.A. Shabalina³, I.M. Korneev⁴

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

¹dparygin@gmail.com, ²npsn1@yandex.ru, ³O.A.Shabalina@gmail.com, ⁴imkor34@mail.ru

Abstract

Structuring objectives is a key problem in the management of socio-economic systems. The lack of effective mechanisms capable to harmonize the objectives of all stakeholders involved in the process of forming the objectives hierarchy is a significant drawback of existing approaches. An attempt to combine different directions within the framework of a unified approach to structuring the objectives of the development of socio-economic systems, taking the collective generalization of subjective images of the desired future into account, is performed in the paper. The problem of knowledge extraction and structuring is considered in the framework of the development of the approach to the collective formation of the vision of the system. It is for the first time proposed to conduct identification of the structure of relationships in complex systems on the basis of a developed algorithm that formalizes the steps of the “Socratic dialogue” method. It is proposed to evaluate the achievability of the current goal using the method of fuzzy hierarchical estimation. The novelty of the conducted research consists in combining all stages of formation of the target hierarchy in a single method that allows to formalize the stages of system identification, definition and coordination of objectives and assessment of achievability.

Key words: *goal achievability, complex systems, Socratic dialogue, fuzzy hierarchical estimation, identification of interrelationships, objectives hierarchy structure, decision support, urban transport system.*

Citation: *Parygin DS, Sadovnikova NP, Shabalina OA, Korneev IM. Formation of an objectives hierarchy in tasks of organizational systems management [In Russian]. Ontology of designing. 2017; 7(4): 496-509. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-496-509.*

Acknowledgment

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of scientific projects No. 16-07-00353_a, No. 16-07-00388_a.

References

- [1] **Davtyan AG, Shabalina OA, Sadovnikova NP, Parygin DS, Erkin DA.** Dynamic goal setting in socio-economic systems [In Russian]. Herald of Computer and Information Technologies. – Moscow: "Spektr" Publishing House; 2016; № 11 (November): 46-53.
- [2] **Kulba VV, Kononov DA, Kosyachenko SA, Shubin AN.** Methods of forming scenarios for the development of socio-economic systems [In Russian]. – Moscow: SYNTHEG; 2004. – 296 p.
- [3] **Anfilatov VS.** System analysis in management [In Russian]. – Moscow: Finances and statistics; 2003. – 368 p.
- [4] **Pospelov GS, Iriki VA.** Program-Targeted Planning and Management: Introduction [In Russian]. – Moscow: Sov. radio; 1976. – 440 p.
- [5] **Pospelov GS, Veen VL, Solodov VM, Shafransky VV, Erlikh AI.** Problems of program-target planning and management [In Russian]. – Moscow: Science; 1981. – 461 p.
- [6] **Axelrod R.** Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton: University Press; 2015. – 422 p.
- [7] **Maksimov VI.** Structurally-Target Analysis of the Development of Social and Economic Situations, Problems of Management [In Russian]. 2005; № 3: 30-38.
- [8] **Avdienko NV, Gorelova GV.** The problem of complex studies and cognitive modeling of sustainable development of the socio-economic system [In Russian]. Izvestia Southern Federal University. Technical science. 2004; № 4: 172-177.
- [9] Cognitive analysis and management of the development of events: materials of the 1 st international conference [In Russian]. Institute of Problems of Management V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences. – Moscow: IPU, 2001.
- [10] **Barabanova EA, Beresnev IA.** Discrete simulation modeling of the queue organization algorithm in the router buffer [In Russian]. Scientific Bulletin of the NSTU. 2015; V. 58; No. 1: 135-148.
- [11] Confinement-modeling. - <http://www.gagin.tv/index.php?page=9/>.
- [12] **Gagin T, Borodina S, Kelin A.** Confinement modeling guide. - <http://www.gagin.tv/files/texts/Confinement-guide.pdf>.
- [13] **Popov DV, Polyakovskiy SY, Mukhacheva NN.** Mathematical and software for confinement-modeling of complex systems [In Russian]. Decision-making under uncertainty: interuniversity. – Ufa: UGATU; 2007: 19-26.
- [14] **Kozlov DV, Zhukova IG, Kul'tsova MB, Litovkin DV.** Generation of OWL-ontology based on the confinement model [In Russian]. Izvestiya Volgograd State Technical University. 2015; No. 6 (163): 58-65.
- [15] **Solomatina AN.** Formation of the structure of goals in the strategic management of the region [In Russian]. Mater. the eighth international. Conf. "Management of the development of large-scale systems MLSD'2015", Moscow, September 29-October 01, 2015. IMU VA Trapeznikov. 2015: 158-161.
- [16] **Shekhovtseva LS.** Managed development of the region: strategic goal setting: Monograph [In Russian]. – Kaliningrad: Publishing house of the Russian State University I. Kanta; 2005.
- [17] **Vittikh VA.** Prolegomena to evergetics [In Russian]. Ontology of designing. 2015; v.5, 2(16): 135-148. doi:10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148
- [18] **Polak F.** The Image of the Future. Elsevier; 1973. – 320 p.
- [19] **Kupriyanycheva EB.** Students dreams as a constituent of the design of the future [In Russian]. Ontology of designing. 2016; v.6, 2(20): 231-240. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2- 231-240.
- [20] **Kul'tsova MB, Zhukova IG, Litovkin DV.** Knowledge Engineering: Textbook [In Russian]. VolgGTU. – Volgograd; 2015.
- [21] Encyclopedia of epistemology and philosophy of science [In Russian]. - https://epistemology_of_science.academic.ru.
- [22] **Raikov AN.** Expert triptych [In Russian]. Management of a megacity. 2011; No. 4: 57-66.
- [23] **Sadovnikova NP, Kireeva YD.** Organization of information and analytical procedures for information and analytical support of the strategic planning of the city [In Russian]. Internet-Bulletin of VolgGASU. 2014; No. 12 (36): 1-6.
- [24] **Murunov S.** Right to the city [In Russian]. Lecture Hall "City Projects". - https://city4people.ru/projects/posts/posts_302.html.
- [25] Dedicated to promoting the use of the Socratic method. Socrates Research Portal. - <http://www.socraticmethod.net/>.
- [26] **Makeev SP, Pitsyk VV, Poludenko VA, Makeev SP.** Reconciliation of development goals for large technical systems with the provision of their characteristics under fuzzy source information [In Russian]. Izv. Academy of Sciences of the USSR, Technical Cybernetics. 1991; No. 5: 124-132.
- [27] **Zade LA.** The concept of linguistic policy and its application to the adoption of approximate solutions [In Russian]. – Moscow: Mir; 1976.

- [28] On the approval of the Volgograd Oblast State Program "Development of the Volgograd Region Transportation System", 2014-2017 (with amendments and additions) [In Russian]. Decree No. 27-p of the Government of the Volgograd Region of February 5, 2014.
- [29] *Sadovnikova NP, Parygin DS, Kalinkina M, Sanjarov B, Tie Ni Ni*. Models and methods of urban transit system research. CIT&DS 2015. Proceedings of the First International Conf. on Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, Volgograd, Russia, September 15-17, 2015. Springer IPS; 2015; CCIS 535: 488-499.

Сведения об авторах



Парыгин Данила Сергеевич, 1984 г. рождения. Окончил Волгоградский государственный технический университет в 2008 г., к.т.н. (2013). Доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования" Волгоградского государственного технического университета. В списке научных трудов более 70 работ в области компьютерного моделирования сложных систем, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений в вопросах развития городов.

Parygin Danila Sergeevich (b. 1984) graduated from the Volgograd State Technical University (Volgograd) in 2008, Cand. Tech. Sc. (2013). He is Associate Professor at Volgograd State Technical University (Department of Computer aided design). He is co-author of about 70 scientific articles and abstracts in the field of computer modeling of complex systems and creation of intelligent decision support systems in urban development.



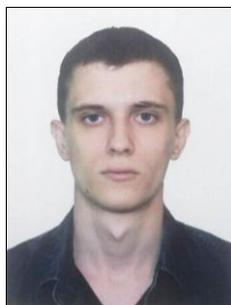
Садовникова Наталья Петровна, 1967 г. рождения. Окончила Волгоградский государственный университет в 1990 г., д.т.н. (2013). Профессор кафедры "Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования" Волгоградского государственного технического университета. В списке научных трудов более 130 работ в области компьютерного моделирования и создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Sadovnikova Natalia Petrovna (b. 1967) graduated from the Volgograd State University (Volgograd) in 1990, D. Tech. Sc. (2013). She is professor at Volgograd State Technical University (Department of Computer aided design). She is co-author of about 130 scientific articles and abstracts in the field of computer modeling and the creation of intelligent decision support systems.



Шабалина Ольга Аркадьевна, 1954 г. рождения. Окончила Волгоградский политехнический институт в 1978 г., к.т.н. (2006). Доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования" Волгоградского государственного технического университета. В списке научных трудов более 210 работ в области моделирования сложных систем с объектами нечисловой природы.

Shabalina Olga Arkadevna (b. 1954) graduated from the Volgograd Polytechnic Institute (Volgograd) in 1978, Cand. Tech. Sc. (2006). She is Associate Professor at Volgograd State Technical University (Department of Computer aided design). She is co-author of about 210 scientific articles and abstracts in the field of modeling complex systems with objects of non-numeric nature.



Корнеев Илья Михайлович, 1994 г. рождения. Окончил Волгоградский государственный университет в 2016 г. Магистрант кафедры "Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования" Волгоградского государственного технического университета.

Korneev Ilya Mikhailovich (b. 1994) graduated from the Volgograd State University (Volgograd) in 2016. He is a master student of Volgograd State Technical University (Department of Computer aided design).



OSTIS-2018

**VIII международная научно-техническая конференция
«Открытые семантические технологии
проектирования интеллектуальных систем»
Open Semantic Technologies for Intelligent Systems**

15 – 17 февраля 2018 г. Минск. Республика Беларусь

Язык статей сборника конференции: *английский*.

Рабочие языки конференции: *русский, белорусский, английский*.

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Российская ассоциация искусственного интеллекта (РАИИ)
- Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)
- Государственное учреждение «Администрация Парка высоких технологий» (Республика Беларусь)
- Министерство образования Республики Беларусь
- Министерство связи и информатизации Республики Беларусь

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- *Принципы, лежащие в основе семантического представления знаний, и их унификация*
- *Языки программирования, ориентированные на параллельную обработку семантического представления баз знаний*
- *Модели решения задач, в основе которых лежит обработка знаний, осуществляемая непосредственно на уровне семантического представления обрабатываемых знаний*
- *Семантические модели мультимодальных пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем*
- *Семантические модели естественно-языковых пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем*
- *Средства и методы, основанные на семантическом представлении знаний и ориентированные на проектирование различных типовых компонентов интеллектуальных систем (баз знаний, программ, решателей задач, интерфейсов)*
- *Прикладные интеллектуальные системы, основанные на семантическом представлении используемых ими знаний*

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ ОРГАНИЗАТОРОВ КОНФЕРЕНЦИИ OSTIS

Официальный сайт конференции: <http://conf.ostis.net>. E-mail: ostisconf@gmail.com.

DESIGN 2018 - The 15th International Design Conference

May 21 - 24, 2018, Hotel Dubrovnik Palace, DUBROVNIK, Croatia

DESIGN 2018 is endorsed event of The Design Society

Conference topics:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| * THEORY AND RESEARCH METHODS | * HUMAN BEHAVIOUR |
| * ORGANISATION AND MANAGEMENT | * ENGINEERING DESIGN PRACTICE |
| * DESIGN PROCESSES | * SYSTEMS ENGINEERING |
| * DESIGN METHODS | * SOCIOTECHNICAL ISSUES |
| * DESIGN SUPPORT TOOLS | * INDUSTRIAL DESIGN |
| * INFORMATION AND KNOWLEDGE | * DESIGN EDUCATION |
| * DESIGN INNOVATION | |

Further information is available on DESIGN 2018 web site:

www.designconference.org

Organising Secretariat address: DESIGN 2018 Secretariat
Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture
10000 Zagreb, I. Lucica 5, CROATIA

Phone: (+385 1) 6168432, Fax: (+385 1) 6168284. E-mail: design2018@fsb.hr



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

ЧЕТВЁРТЫЕ ЛЕМОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

научная конференция

**22-24 марта 2018 года, Самарский университет,
Самара, Россия**

Организаторы:

- Самарский университет, Самарский научный центр (СНЦ) РАН
- Научный совет по методологии искусственного интеллекта (НСМИИ) РАН
- Стратегическое общественное движение «Россия 2045», Ассоциация исследователей фантастики

ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- *Художественное и философское наследие Станислава Лема*
- *Теоретические основания научной фантастики: теоретико-литературные и философские подходы*
- *История и современное состояние научно-фантастической литературы: темы, идеи, авторы*
- *Модели будущего в научной фантастике: неочеловек и альтернативные социальные модели*
- *Научная фантастика и война идеологий*
- *Кибернетическое бессмертие и трансгуманизм*
- *Научная фантастика и научно-технологический прогресс: прогностические модели реальной науки*
- *Педагогический потенциал научной фантастики*

Заявки на участие принимаются по адресу lemovskiye.org@gmail.com или phil@ssau.ru, тел. +7 846 267 47 87.



XXI Международная конференция **Science Online XXI: электронные информационные ресурсы для науки и образования** 27 января - 3 февраля 2018 г, Австрия

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

1. НАЦИОНАЛЬНОЕ И ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНОЕ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

- *Проблемы научной политики и национальной системы оценки научных результатов*
- *Структура отечественной науки и национальные научные приоритеты*
- *Национальные языки в науке - есть ли у них будущее?*
- *Развитие инфраструктуры и информационное обеспечение науки и образования*

2. ОТКРЫТАЯ НАУКА

- *Идеология, методы, механизмы коммуникации, инструменты продвижения*
- *Новые модели распространения научных результатов*
- *Открытое рецензирование*
- *От научного журнала к блогам, поисковикам и социальным сетям*

3. РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

- *Russian Science Citation Index - от индексирования российской периодики к индексированию монографий*
- *eLIBRARY, РИНЦ и ядро РИНЦ - где провести границы?*
- *Эволюция сервисов Science Index - что нового?*

4. НАУКА В ЦИФРАХ

- *Библиометрия - ее роль и влияние на развитие современной науки*
- *Глобальная цифровая идентификация объектов науки - ученых, организаций, публикаций, наборов данных*
- *Возможности использования библиометрии для оценки социогуманитарного знания*

5. «ФЕЙКОВАЯ» НАУКА И НАУЧНАЯ ЭТИКА

- *«Мусорные» журналы, «липовые» диссертации и «фейковые» конференции*
- *Проблемы обнаружения заимствований в квалификационных работах и научных исследованиях*
- *Выявление мошеннических схем искусственного повышения библиометрических показателей*

<https://elibrary.ru/projects/conference/austria2018/info.asp>

Рекомендуемые издания 2017-2018 гг. по тематике журнала



Белов М.В., Новиков Д.А.

Методология комплексной деятельности.

– М.: Ленанд, 2017. – 320 с.

Книга посвящена изложению методологии комплексной деятельности, развивающей общую методологию на случай любой сложной (имеющей нетривиальную многоуровневую внутреннюю структуру) человеческой деятельности. Рассматриваются структурные элементы комплексной деятельности, конструктивно описываются её логическая, причинно-следственная и процессная структуры. Значительное внимание уделяется организации и управлению, неопределённости, а также жизненным циклам деятельности, её субъектов, предметов, ресурсов, знаний и технологий. В качестве иллюстраций реализации общих подходов на протяжении всего текста используются несколько типовых примеров – функционирование рабочих групп, подразделений, проектов и организаций в целом: розничного банка, авиастроительной фирмы, пожарной части и атомной электростанции.

Использование системы согласованных формальных моделей обеспечивает практическую применимость результатов как специалистами-практиками, так и учёными, занимающимися исследованиями общих принципов организации деятельности (практической, научной и др.) и управления организационно-техническими системами.

<http://www.mtas.ru/biblio/MKD.pdf>



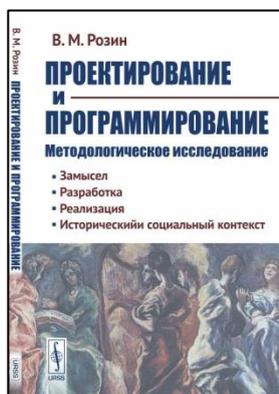
Глазунов В.Н.

Концептуальное проектирование:

теория изобретательства. - М.: URSS. 2018. 512 с.

В книге изложены теоретические основы концептуального проектирования как самостоятельного вида проектной деятельности. Выявлены все виды задач концептуального проектирования и разработан формальный метод их решения, получивший название метода концептуального проектирования. Теоретический материал, представленный в книге, изложен в рамках единой системы понятий, базирующихся на категориях тернарной **онтологии**. Концептуальное проектирование — это новый этап развития теории изобретательства, завершающий переход от эвристических методов ТРИЗ к формальным методам изобретательства. Область применения метода концептуального проектирования охватывает все этапы и направления разработки концепции технической системы. При разработке метода

концептуального проектирования был получен ряд важных результатов, относящихся к области искусственного интеллекта. Разработаны: тернарная **онтология** — вариант метаонтологии; технология построения **онтологических систем**; рекурсивный алгоритм поиска маршрутов на графе. Книга рассчитана на широкий круг читателей: изобретателей, инженеров, проектировщиков, конструкторов, специалистов в области повышения качества продукции, инновационного маркетинга и искусственного интеллекта, а также преподавателей и студентов технических вузов. Книга может служить практическим пособием для тех, кто занимается разработкой систем искусственного интеллекта. В ней есть все необходимое для того, чтобы Вы смогли самостоятельно создать свою компьютерную программу для решения интеллектуальных задач на основе **онтологий**.



Розин В.М.

Проектирование и программирование:

Методологическое исследование.

- М.: URSS. 2018. 160 с.

В книге Вадима Розина, автора уже нескольких работ, посвящённых анализу техники, технологии и проектирования, представлен новый цикл исследования проектирования и дан анализ программирования. Проводится сопоставление проектирования и программирования. В новом исследовании автора читатель может познакомиться с культурно-исторической реконструкцией предпосылок и становления проектирования и программирования, особенностями проектного мышления и дискурса, типологией этих видов деятельности. Разводятся традиционное и нетрадиционное проектирование, компьютерные и методологические виды программирования. Анализируются социокультурные условия, которые способствовали становлению и развитию проектирования и программирования. В противовес известным статическим определениям проектирования и программирования

Розин вводит их динамические определения. Книга адресована широкому кругу философов, учёных, специалистов в области проектирования и программирования, а также преподавателям соответствующих дисциплин.

30 ЛЕТ ИПУСС РАН



В декабре 1987 года, поддержав инициативу выдающегося конструктора авиационных и ракетных двигателей академика Н.Д. Кузнецова, Президиум Академии наук СССР принял решение о создании в г. Куйбышеве филиала Института машиноведения им. А.А. Благонравова АН СССР (ИМАШ).

Директором нового академического Института был назначен крупный ученый и организатор науки д.т.н., профессор В.А. Виттих. Направлением исследований стали проблемы автоматизации и интеллектуализации в машиностроении. Итоги первых лет работы подвелись на Всесоюзной конференции «Интеллектуальные системы в машиностроении» (1991 г.), которую АН СССР провела на базе Института.

С начала 90-х годов в Институте укрупняется тематика научных исследований, укрепляются связи с вузами и промышленными предприятиями. Значительную роль тогда сыграл долгосрочный контракт с АО АвтоВАЗ по созданию Системы компьютерной интеграции знаний для обеспечения инженерной деятельности при проектировании и производстве автомобилей. В это же время в Институте была создана базовая кафедра «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

В 1996 г. Самарский филиал ИМАШ РАН был преобразован в самостоятельный Институт проблем управления сложными системами (ИПУСС) РАН, развитие которого связывалось с разработкой научных основ интеллектуальных систем экспериментальных исследований в машиностроении, новых методов обработки данных, компьютерных онтологий и мультиагентных систем управления. С 1999 г. Институт ежегодно проводит Международную конференцию «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», с 2011 г. совместно с Самарским университетом выпускает научный журнал «Онтология проектирования».

В последнее пятилетие в Институте развёрнуты работы по становлению новой науки об управлении в обществе - *эвергетики*, идеологом которой был В.А. Виттих. Методы и средства компьютерного представления и обработки знаний разрабатывает научная группа д.т.н. С.В. Смирнова. Наиболее востребованы исследования решения задач управления на базе мультиагентных технологий, которые проводятся в Институте под руководством д.т.н. П.О. Скобелева. Активизируются работы по созданию методов и систем, которые могут стать основой интеллектуального управления газотурбинными двигателями (д.т.н. С.Ю. Боровик и др.). В целом перспективы деятельности Института связаны с развитием технологий Industry 4.0 и переходом к технологии Society 5.0.



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