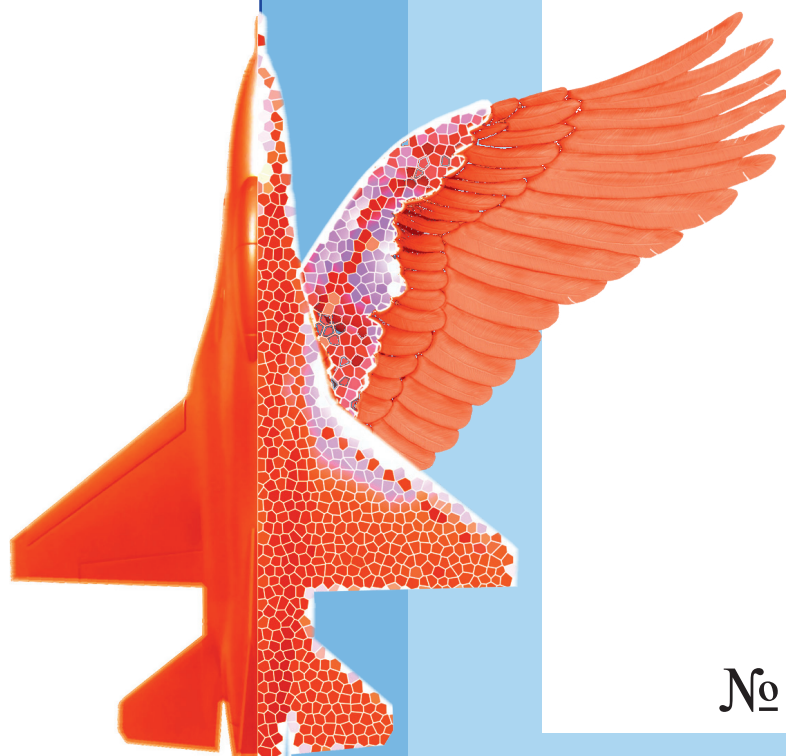



# ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



  
САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SAMARA UNIVERSITY

75 лет

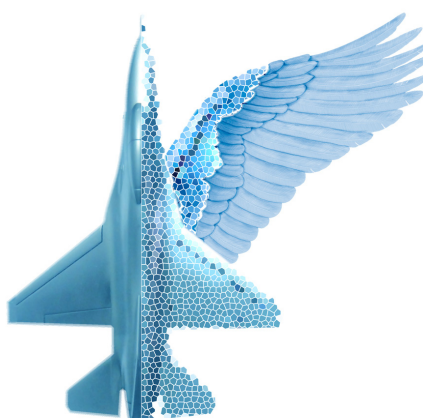
Том 7  
№ 3(25)/2017

**ОНТОЛОГИЯ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Научный журнал

Том 7

№ 3(25)



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

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).

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/](http://agora.guru.ru/scientific_journal/)

© 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



Отпечатано в ООО «Новая техника», г. Самара, пр.К.Маркса, 24-76.  
Дата выхода 30.09.2017. Тираж 300 экз. Свободная цена. (6+).

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОТ РЕДАКЦИИ

ФИЗОЛИРИКА 245-246

### ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**А.Б. Сорокин** 247-269  
КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ\*

**О.И. Лахин, Ю.С. Юрыгина, А.С. Анисимов** 270-283  
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ  
ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**С.А. Пиявский** 284-295  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ

**Е.А. Самойлов** 296-309  
ХОЛОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ ОБУЧАЕМЫХ\*

### ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

**А.С. Клещёв, В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева** 310-322  
МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЗАПРОСА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

**С.В. Павлов, О.А. Ефремова** 323-333  
ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНЫХ  
ПО СТРУКТУРЕ И ТЕМАТИКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ  
В ЕДИНУЮ РЕГИОНАЛЬНУЮ БАЗУ ДАННЫХ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

**В.Я. Цветков, А.В. Буравцев** 334-346  
МЕТРИКИ СЛОЖНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ\*

**С.В. Микони** 347-360  
О КАЧЕСТВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ\*

## CONTENT

### FROM THE EDITORS

LYRICS & PHYSICS 245-246

### APPLIED ONTOLOGY OF DESIGNING

**A.B. Sorokin** 247-269

CONCEPTUAL DESIGN OF INTELLIGENT DECISION  
SUPPORT SYSTEMS

**O.I. Lakhin, Y.S. Yurygina, A.S. Anisimov** 270-283

PRINCIPLES OF BUILDING THE KNOWLEDGE MANAGEMENT  
SYSTEM FOR ROCKET AND SPACE ENTERPRISES

### METHODS AND TECHNOLOGIES OF DECISION MAKING

**S.A. Piyavsky** 284-295

COMPUTATIONAL ASPECTS OF ESTABLISHING UNIVERSAL TABLES  
OF CRITERION'S IMPORTANCE

**E.A. Samoilov** 296-309

HOLONIC APPROACH TO CONTROL INTELLECTUAL  
DEVELOPING LEARNERS

### ONTOLOGY ENGINEERING

**A.S. Kleschev, V.V. Gribova, E.A. Shalfeeva** 310-322

THE METHOD OF SOLUTION OF THE PROBLEM  
OF ADDITIONAL INFORMATION REQUEST

**S.V. Pavlov, O. A. Efremova** 323-333

ONTOLOGICAL MODEL FOR INTEGRATION OF STRUCTURALLY  
HETEROGENEOUS SPATIAL DATABASES OF VARIOUS SUBJECT  
AREAS INTO A UNIFORM REGIONAL DATABASE

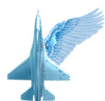
### GENERAL DESIGN ISSUES: ONTOLOGICAL ASPECTS

**V.Ya. Tsvetkov, A.V. Buravtsev** 334-346

METRICS OF A COMPLEX DETERMINATE SYSTEM

**S.V. Mikoni** 347-360

ON THE QUALITY OF ONTOLOGICAL MODELS



«Посвящается В. Виттиху»  
Василий Аксёнов

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

Заголовок и эпиграф нашего обращения заимствован из названия одноимённого рассказа В.П. Аксёнова «Физолирика»<sup>1</sup>, который автор посвятил В.А. Виттиху: и как учёному, занимавшемуся вопросами автоматизации управления сложными системами, и как джазовому пианисту-композитору, организатору джаз-клубов и участнику многих джазовых фестивалей. Именно в нём он увидел то прекрасное и естественное для БОЛЬШОГО учёного сочетание глубокого знания предмета исследования, широту взглядов и интересов, важность импровизации в творчестве, в науке, в музыке...

В этом году впервые Международная научная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС), организуемая ежегодно начиная с 1999 года Институтом проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН), прошла без участия его вдохновителя, постоянного председателя Организационного комитета ПУМСС Владимира Андреевича Виттиха. XIX-я по счёту конференция была посвящена памяти Владимира Андреевича<sup>2</sup>, ушедшего от нас 18 августа 2017 года.

Профессор В.А. Виттих одним из первых поддержал создание нашего журнала, был активным членом его редколлегии и автором многих статей. Именно В.А. Виттих впервые в России инициировал работы по онтологическому анализу предметных областей, в которых создавались различные информационные системы. Под его руководством в России были защищены первые докторские диссертации по онтологиям (С.В. Смирнов) и выстраиваемым на их основе и их использующим мультиагентным технологиям (П.О. Скобелев).

В.А. Виттих оставил нам разрабатывавшуюся им в последние годы *ЭВЕРГЕТИКУ*, эту новую науку об управлении, в которой он отводил решающую роль акторам, горизонтальным или фактически прямым связям, мотивации, реальным сценам и жизненным ситуациям, обыденности. В его модели управления органично вовлечены результаты исследований психологов, социологов, экономистов, философов, которые наряду с математиками и «информационщиками» составляли аудиторию конференций ПУМСС.



<sup>1</sup> Василий Аксёнов. Физолирика. Рассказ, 1996 год; цикл «Негатив положительного героя».

<sup>2</sup> Открытие конференции ПУМСС-2017. На уже исторических фотографиях В.А. Виттих музицирует и размышляет о ПУМСС.

Востребованность гуманитарных знаний при создании информационных систем, обслуживающих людей, очевидна, но порой игнорируется, и Владимир Андреевич многое делал для того, чтобы разрабатываемые модели были адекватны, учитывали интересы и способности (потребности и возможности) субъектов-участников информационного обмена, подчеркивая, что лишь в таком случае модели могли бы стать эффективными.

Наш журнал, разрабатывающий и освещающий результаты исследований по формализации деятельности, в первую очередь проектной, в которой всегда присутствует человек со своими атрибутами (знаниями, опытом, предпочтениями), связями и отношениями, смело можно отнести к «техническому» журналу, в котором вопросы intersubjectности (гуманитарной компоненты) органично вплетаются в модели разрабатываемых информационных систем. Ведь онтология - это в первую очередь то, что есть на самом деле, то что существует в действительности, то что адекватно ей, окружающему нас бытию. Успехи корпорации Ниссан в автоматическом проектировании автомобилей, беспилотные проекты машин Яндекса, Теслы, Тойоты и многих других стали возможны и реализуются благодаря построенным онтологиям предметной среды и онтологиям процессов, задач и деятельности в ней.

В этом номере мы отобрали статьи авторов из Москвы, Санкт-Петербурга, Владивостока, Уфы и Самары. Стоит признаться, что, как и в предыдущих номерах, у редакции возникали трудности по отнесению результатов публикуемой статьи к тому или иному разделу нашего журнала. При всей очевидности соответствия материала статьи тематике нашего журнала (иначе эта статья не была бы принята редколлегией) однозначно отнести его в ту или иную из обозначенных рубрик не всегда удаётся. Поэтому в Содержание этого номера внесены символы \* к названиям таких статей, которые условно были отнесены в соответствующий раздел. Эта метка означает, что статья помещена в данный раздел потому, что именно в него авторы, по нашему мнению, внесли наибольший вклад, хотя в статье есть результаты, которые относятся и к другим рубрикам журнала. Примером служат статьи, в той или иной степени рассматривающие вопросы понятия *сложности* с разных позиций и размещенные в разных разделах. Мы ждём отклики на эти публикации, так как тема, затрагивающая понятия, вряд ли когда будет исчерпана...

Жизнь продолжается, и мы не можем не обратить Ваше внимание и на то, что мы делаем и делаем для будущего нашего журнала. И поэтому в нашей команде появились молодые, энергичные, талантливые доктора наук Самарского университета. Это в классификации В.П. Аксенова «физик», д.т.н., профессор кафедры информационных систем и технологий А.В. Иващенко и «лирик» д.филос.н., заведующий кафедрой философии А.Ю. Нестеров. Путём ротации слегка «омолодили» и главного редактора (теперь в его роли П.О. Скобелев). Смена главного редактора никак не скажется на тематике журнала (С.В. Смирнов по прежнему отвечает за неё), а вот с вектором его развития мы надеемся на определённый прогресс.

Самарский университет (в прошлом КуАИ, затем СГАУ, а теперь и учредитель нашего журнала), долгое время существовавший как сугубо технический с аэрокосмической направленностью, в октябре отмечает своё *75-летие* уже как университет с сопоставимой по объёму образовательной и научной гуманитарной составляющей. Объединение «физиков» и «лириков» даёт надежду на коллаборацию и синергию, возможно, уже в ближайшее время. От души, тепло и искренне поздравляем всех сотрудников, студентов и выпускников замечательного КуАИ-СГАУ-Самарского университета 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 004.023/004.825

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**А.Б. Сорокин**

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, Россия  
ab\_sorokin@mail.ru

### Аннотация

В статье изложена оригинальная методика концептуального проектирования систем поддержки принятия решений для разрешения проблем в динамически сложной среде. Для построения концептуальной модели, предложено исследовать динамически сложную среду в трёх аспектах: системных представлений, деятельностного подхода Г.П. Щедровицкого и ситуационного анализа Л.С. Болотовой. Триада рассматриваемых представлений приводит к построению концептуальной структуры акта деятельности, которая позиционируется как база знаний для проектирования экспертных систем продукционного типа. Из реализованной концептуальной структуры выделяются частные представления: функций, процессов, контекста и закономерностей. Это даёт возможность определить необходимую область знаний о предметной области для реализации когнитивных, аналитических, эволюционных и имитационных моделей. Графическое построение концептуальной модели динамически сложной среды и её частных представлений - сложная и нетривиальная задача. Поэтому разработан программный комплекс «Оформитель + Решатель + Интерпретатор», который проверяет концептуальную модель динамически сложной среды на полноту и адекватность, а также генерирует необходимую базу знаний для проектирования интеллектуальных моделей в виде текстовых файлов.

**Ключевые слова:** система, деятельность, категориальная схема, поле знаний, ситуационный анализ, матрица решений, концептуальные планы, витрина знаний.

**Цитирование:** Сорокин, А.Б. Концептуальное проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений / А.Б. Сорокин // Онтология проектирования. 2017. – Т. 7, №3(25). - С. 247-269. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.

### Введение

Объективная реальность современного мира такова, что лица, принимающие решения (ЛПР) вынуждены действовать в динамически сложной среде, которая характеризуется следующими особенностями [1]:

- для достижения целей необходимо принимать множество решений, каждое из которых должно рассматриваться в контексте остальных;
- принимаемые решения зависимы друг от друга, обладают стохастическими, косвенными и мнимыми связями;
- среда изменяется как под воздействием определённой совокупности систем, так и вследствие принимаемых решений.

В динамически сложной среде находится множество систем (экономических, социальных, техногенных и др.), в которых центральную роль играет логика человеческих целей и действий. При таких условиях среда определена многомерностью состава и сложностью организации, а знания о ней обладают не структурированностью и трудно формализуемым характером. Очевидно, что для управления такой средой необходимо использовать комплекс взаимосвязанных систем поддержки принятия решений (СППР), которые основаны на синергетических комбинациях моделей, основанных на знаниях. Используя методы искус-



ственного интеллекта (ИИ) для реализации СППР необходимо учитывать, что они не имеют средств углубления понимания предметных областей (ПрО), они лишь мобилизуют уже имеющиеся знания.

Установление структуры какого-либо объекта во многом тождественно его познанию как таковому. Все иные аспекты во многом производны от его структурной организации и определяются ею. Структурная характеристика любого объекта является главной при его раскрытии. Поэтому наибольшее распространение получила так называемая CASE-технология (*Computer-Aided Software Engineering* – Автоматизированная разработка программного обеспечения). Однако для того, чтобы принять взвешенное решение относительно инвестиций в CASE-технологии, пользователи вынуждены производить оценку отдельных CASE-средств, опираясь на неполные и противоречивые данные. Эта проблема зачастую усугубляется недостаточным знанием всех возможных «подводных камней» использования CASE-средств [2]. Таким образом, несмотря на популярность данных технологий, использование их для проектирования СППР сопровождается рядом затруднений для разработчика:

- предлагается множество избыточных или практически неиспользуемых концептуальных конструкций;
- предлагается не единый, а разнородный синтаксис, то есть разнородные правила составления конструкций языка;
- не предлагаются эффективные способы моделирования (ПрО) на ЭВМ.

Эти обстоятельства указывают на существование в области поддержки принятия решений проблемы, состоящей в отсутствии единой концептуальной структуры обоснованных решений относительно управления динамически сложной средой и программном извлечении различных знаний из концептуальной модели для проектирования интеллектуальных СППР. В статье предложена методика разработки СППР, позволяющая построить целостную модель среды с использованием единого графического языка и выделить из неё на программном уровне частные представления (концептуальные планы) баз знаний (БЗ).



Рисунок 1 – Предназначение концептуальной структуры

С этой целью необходимо сформировать «новые» определения, исходя из родовых связей между понятиями, и идею проектируемой системы, выраженную через интерпретацию понятий. Единицей такой работы выступает концептуальная структура, которая связывает через отношения экстенсионалы понятий в единое представление (см. рисунок 1). Направленность отношений устанавливает, что если существуют дефиниции понятия «система», то можно выдвинуть гипотезу об устройстве системного объекта (динамически сложной среды).

## 1 Системные исследования

Предложено достаточно большое количество общих и специальных определений понятия «система». Одни из них претендуют на универсальность: система есть совокупность или множество связанных между собой элементов [3]. Практическое применение определений такого класса невелико. Однако свойство универсальности таких определений даёт возможность развернуть знания о динамически сложной среде в любом направлении. Тогда структура строится из множества элементов  $A$ , заполняющих пространство системы  $S$ . Элементы

системы представляют собой части пространства, между которыми существуют определённые связи  $\Gamma$  (см. рисунок 2).

Примитивный редукционизм сводящий систему к сумме её элементов, почти всегда приводит к ошибочным выводам. Поэтому предлагается рассмотреть динамически сложную среду как большую систему, т.е. систему, которая не может рассматриваться иначе как в качестве совокупности априорно выделенных подсистем [4]. Таким образом, большая система  $S_b$  определена мерностью и однородностью состава, которая может быть описана на одном языке моделирования. Это позволяет утверждать, что связи между подсистемами возможны только в том случае, если их объединяет общая основа. В пространстве системы  $S_b$  может существовать некоторая подсистема  $S_1$  с множеством элементов  $\{Aa, Ab, \dots, Ah\}$  и подобная ей подсистема  $S_2$ , состоящая из связанных друг с другом элементов  $\{Ai, Aj, \dots, Ap\}$  (см. рисунок 3).

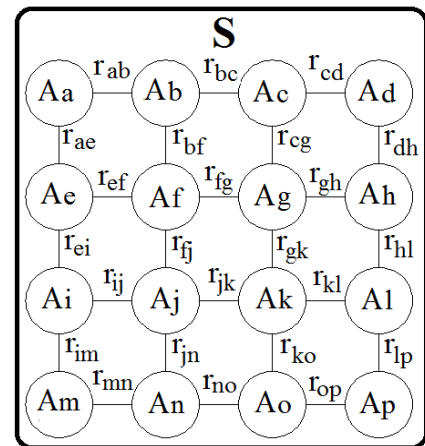


Рисунок 2 – Структура пространства системы

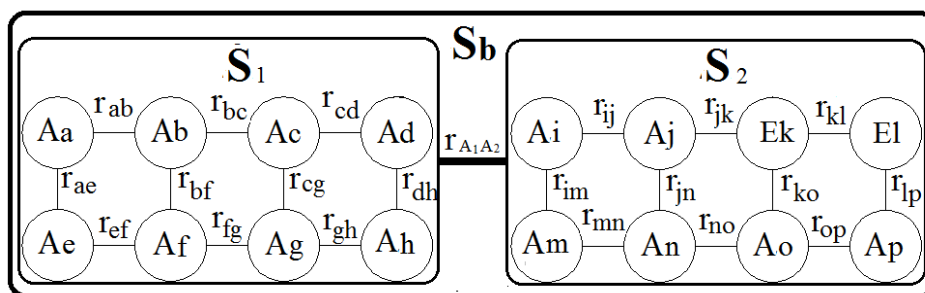


Рисунок 3 – Структура пространства большой системы

При многоуровневом расчленении большой системы необходимо определить термин понятия «подсистема» как элемент системы, который при подробном рассмотрении оказывается системой [3]. Подсистему согласно данному определению возможно представить как сложный объект, которому может быть приписано столько систем, сколько можно придумать. Каждая такая система выражает лишь определённую грань объекта, т.е. другими словами: сложная система – это система, построенная для решения многоцелевой задачи; система, отражающая разные, несравнимые аспекты характеристики объекта; система, для описания которой необходимо несколько языков; система, включающая взаимосвязанный комплекс разных моделей [4]. Тогда по отношению к пространству большой и сложной системы  $S_{bc}$  в подсистемах  $S_1$  и  $S_2$  существуют структуры  $(S_1^1, S_1^2, S_1^3, S_1^4)$  и  $(S_2^1, S_2^2, S_2^3, S_2^4)$ , которые увеличивают мерность состава и сложность организации (см. рисунок 4).

Таким образом, демонстрируется, как можно из одной и той же совокупности элементов строить различные иерархические структурные представления, образующие полиструктуру. При этом структура определяет функцию, так как при одном и том же составе элементов, но при различном взаимодействии между ними меняется функция системы и её возможности. В тоже время одна и та же функция может реализоваться различными структурами, которые находятся в различных средах. Тогда можно утверждать, что динамически сложная среда должна рассматриваться как большая и сложная система, которая не только полиструктурна, но и полифункциональна.

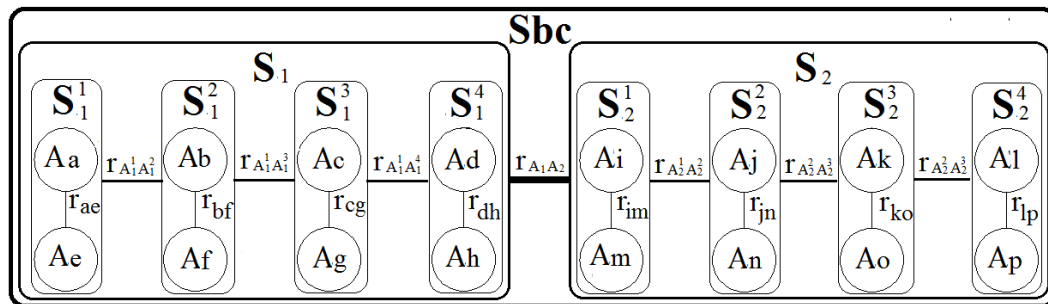


Рисунок 4 – Структура пространства большой и сложной системы

Изменчивость среды определяет высокую активность её элементов, компонентов и систем, т.е. они обладают большой степенью свободы их различных организаций. Однако организация выступает не только как свойство всего сущего, а как некоторая упорядоченность содержания, упорядоченность системы в соответствии с системообразующим фактором. Системообразующий фактор определён объективным явлением и характеризует способность материи обретать и проявлять системность и выступает средством (инструментом) для вычленения системы из среды [5].

Выдвигается гипотеза о том, что главным системообразующим фактором в динамически сложной среде является активное взаимодействие человека с окружающим миром – деятельность. Для доказательства гипотезы необходимо исследовать моделирование динамически сложной среды с позиции деятельностного подхода и реализовать структуру релевантную рисунку 4.

## 2 Деятельностный подход

Получить конечное рассудочное определение понятия «деятельность» сложно, так как это универсальная общенаучная категория предельной абстракции и используется в форме объяснительного принципа. В мире всё может рассматриваться как деятельность, при этом она носит объясняющий характер того, что происходит в мире, хотя сама в обосновании не нуждается [6].

Деятельность существует в двух формах: внутренняя – мыслительная, невидимая для наблюдателя, как выражение активности сознания, и внешняя – практическая, видимая для наблюдателя, как конечный результат, достижимый в пределах некоторого интервала времени. Внешняя и внутренняя деятельности тесно взаимосвязаны между собой. Однако передать средство, способ выполнения какого-либо процесса невозможно иначе, как во внешней форме. Поэтому в статье рассматривается только внешняя деятельность (далее деятельность), которая выражена в реальном продукте.

Одно из важнейших свойств деятельности – универсальность. Свойство универсальности означает, что деятельность способна учитывать специфические особенности различных ПРО, которые могут быть различны как по функциональному составу, так и по структуре, т.е. универсальность деятельности порождает свойство полифункциональности. Свойство полиструктурности позволяет деятельности развернуться в самые разные структуры и занимать определённое пространство окружающей действительности. При этом деятельность определена границами действительности, которые являются внешними характеристиками пространства. Пространство действительности обладает внутренними характеристиками – целостности и логической однородности. Поэтому существует возможность отделить деятельность от других действительностей, построив её структуру, и логически перейти от любого элемента этой структуры к другому элементу этой же структуры [7].

Тогда в динамически сложной среде может существовать множество деятельностей. При этом деятельность существует в циклах воспроизводства, которые разделяют её на сферы, виды и акты деятельности. Таким образом, реализуется иерархическая структура динамически сложной среды, которая обладает свойством полиструктурности и полифункциональности (см. рисунок 5).



Рисунок 5 – Иерархическая структура динамически сложной среды

Очевидно, что структура пространства большой и сложной системы, изображённая на рисунке 4, релевантна иерархической структуре динамически сложной среды, изображённой на рисунке 5. Выдвинутая гипотеза позволяет предположить, что СППР в динамически сложной среде может быть спроектирована как большая и сложная система.

Акт является элементом деятельности и строится в соответствии с определёнными нормами (правилами), без которых он не существует. Эти правила представляют интерес, когда используются многократно при построении других деятельностей. При этом можно выделить обобщающие нормы, которые будут представлять некий шаблон. Для построения схемы акта деятельности целесообразно рассмотреть «... совсем абстрактные, методические представления деятельности в виде набора блоков» [7]. Тогда существует возможность построить шаблон акта деятельности, которым можно описать любую Про деятельности.

Шаблон Г.П. Щедровицкого представляет собой категориальную схему акта деятельности, каждый элемент которой может «разворачиваться» в выбранном направлении деятельности (см. рисунок 6). Элементы в категориальной схеме акта деятельности представлены в виде различных процессов, трансформаций, последовательностей и соответствий. Каждый акт деятельности направлен на трансформацию Tran некоторого объекта Ob деятельности, поэтому он представлен двумя состояниями: начальное состояние, которое определено как исходный материал RM и конечное – продукт Pr.

$$(1) \quad Ob \equiv RM \xrightarrow{\text{Tran}} Pr.$$

Исходный материал RM наполняет содержанием категорию «средства» деятельности, а категория «цель» определяет стремление к идеальному образу продукта деятельности Pr. При этом цель лишена операционального характера, она не содержит ни указаний к деятельности, ни даже потребности в таких указаниях; но если удаётся получить логическое выражение, связывающее цель со средствами и методами, то задача практически всегда решается.

Однако ЛПР сталкиваясь с проблемой, не имеет определённых знаний о методе и средствах её решения, о последовательности действий для построения собственной деятельности,

не может уверенно опираться на опыт прошлых или подобных решений. Тогда в категориальной схеме акта деятельности обрываются связи между проблемой и методами, а также между проблемой и средствами (см. рисунок 7).

Для разрешения проблемы в категориальной схеме акта деятельности предлагается:

- цель выразить в виде требований к продукту акта деятельности;
- нехватку знаний по элементам категориальной схемы, содержащей проблему, восполнить из результатов (продуктов) других категориальных схем актов деятельности, содержащих задачу.

Таким образом, проблема оказывается замкнутой различными задачей-содержащими актами деятельности, которые входят в проблему в виде решений её элементов, создаётся поле знаний о проблеме (см. рисунок 7). Соответственно, для решения проблем в динамически сложной среде необходимо участие экспертов различных областей знаний, которые должны чётко взаимодействовать между собой, что само по себе не просто. Но, если они даже справятся со своими задачами, возникают вопросы согласования полученных знаний, их представления, визуализации, структурирования.

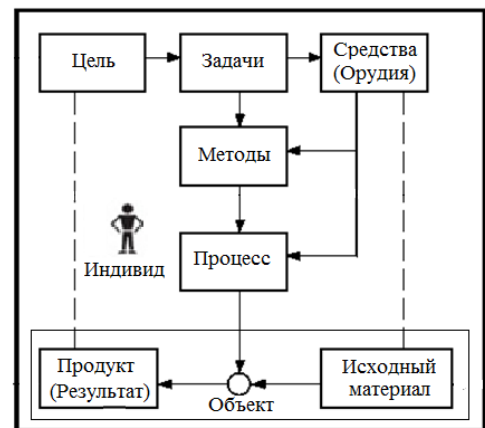


Рисунок 6 – Категориальная схема акта деятельности

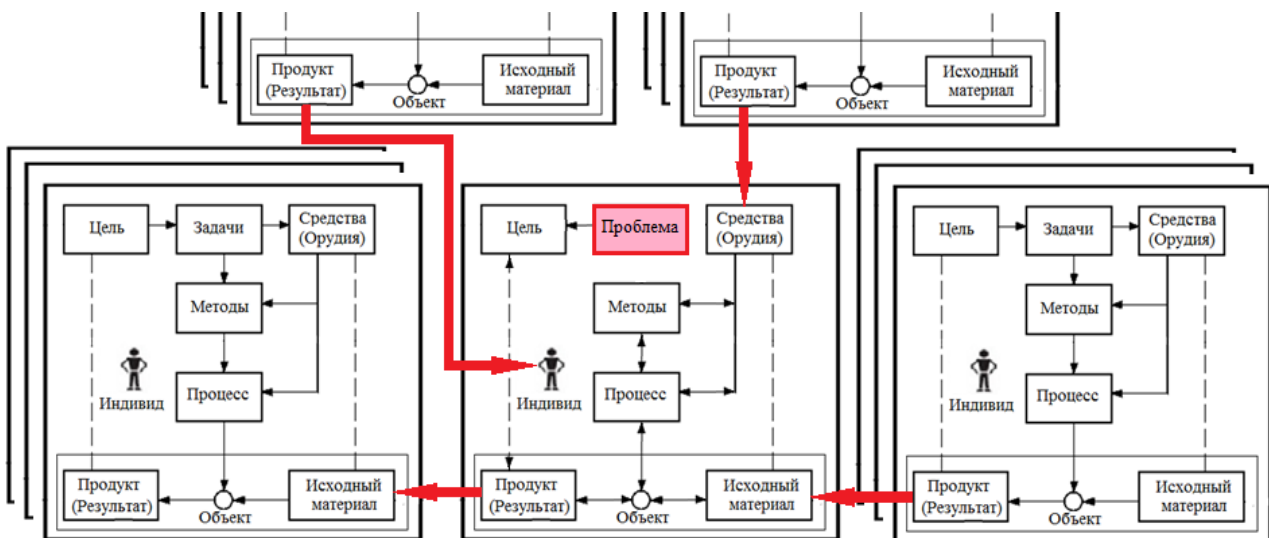


Рисунок 7 – Поле знаний о проблеме

Очевидно, это должен быть специальный метод, методика, соответствующие программные средства, которые будут увязывать всё в единое целое: процессы работы с экспертом при выполнении всех типов анализов, фиксацию получаемых знаний, их обработку, выдачу на выходе результатов в виде готовой к использованию модели ПрО, БЗ. Однако деятельностный подход не может поддерживать данные требования, так как не учитывает роль ситуативности при разрешении проблемы, вследствие этого не может быть сформирована адекватная база допустимых решений. Поэтому предлагается исследовать возможность проектирования СППР через ситуационный контекст.

### 3 Метод ситуационного анализа

Под ситуационным управлением (анализом) понимается процесс между ЛПР на основе общего понимания ситуации, вырабатываемого в процессе их взаимодействия, в темпе развития ситуации [8]. При этом в соответствии с принципами ситуационного анализа Л.С. Болотовой необходимо действие отождествлять с определённым единичным решением  $d$ . Единичное решение рассматривается как связанная структура следующих элементов  $X$ : субъект действия  $Xas$ , действие  $Xa$ , объект действия  $Xao$  и компоненты действия  $\{Xac_1, Xac_2, \dots, Xac_N\}$ , влияющие на решение. При этом действие образует структуру из трёх возможных типов связующих звеньев  $L$ : СД ( $Las$ ) – связь между субъектом действия  $Xas$  и действием  $Xa$ , ОД ( $Lao$ ) – связь между объектом действия  $Xao$  и действием  $Xa$ , КД  $\{Lac_1, Lac_2, \dots, Lac_N\}$  – связь между компонентами действия ( $\{Xac_1, Xac_2, \dots, Xac_N\}$ ) и действием  $Xa$  [9].

Тогда в решении выделяются две части: функционально-целевая (субъект – действие – объект) и обеспечивающая (субъект – действие – (компонента\_1, компонента\_2, ..., компонента\_N)), образующие единую структуру. При этом функционально-целевая часть называется задачей управления  $Z$ , а обеспечивающую обозначим как  $Q$ . Тогда вся структура является их объединением [9]:

$$(2) \quad D = Z \cup Q.$$

Содержание функционально-целевой части выражено формулой:

$$(3) \quad Z = Las(Xas, Xa) \cup Lao(Xa, Xao).$$

Представим содержание обеспечивающей части в виде формулы:

$$(4) \quad Q = Lac_1(Xa, Xac_1) \cup \dots \cup Lac_N(Xa, Xac_N).$$

Очевидно, что вершины структурной схемы могут быть связаны между собой различными взаимоотношениями, которые являются выражением связи в сознании эксперта. Тогда связующие звенья (связи) между элементами – первичны, а субъективные оценки эксперта (отношения) – вторичны.

Выделяется два типа двунаправленных бинарных семантических отношений:

- взаимодействие – это вертикальные опосредованные отношения, которые выражаются через действие  $Xa$  и связующие звенья  $Las, Lao, \{Lac_1, \dots, Lac_N\}$ . Таким образом, реализуются следующие типы конструкторов: субъект – объект  $Rso$  или объект – субъект  $Ros$ , субъект – компонент  $\{Rsc_1, \dots, Rsc_N\}$  или компонент – субъект  $\{Rcs_1, \dots, Rcs_N\}$ .
- отношение – есть эмпирическое выявление зависимости между объектами и обусловлено следующими конструкторами: объект – компонент  $\{Roc_1, \dots, Roc_N\}$  или компонент – объект  $\{Rco_1, \dots, Rco_N\}$ , компонент\_1 – компонент\_N ( $Rcc_{1N}$ ) или наоборот. Данные горизонтальные отношения, как правило, осуществляют функции координации, пространственной или логической связанности и т.д.

Результатом таких семантических выражений может быть либо правда (1), либо ложь (0).

Каждое горизонтальное отношение или вертикальное взаимодействие вследствие виртуальной или реальной связанности приводит к активности взаимосвязанных элементов, т.е. изменению их свойств. При этом элементы, вступая в структурную связь через действие, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в свободном состоянии. Иными словами, функционально-целевая часть через действие обеспечивает перенос вещества, энергии и информации. Поэтому необходимо учитывать структурную связь между элементами и их свойствами  $P$ , которая представлена связующими звеньями: ОС ( $L^Pao, L^Pas, L^Pac$ ) – связь между объектом (субъектом или компонентами) действия и их свойствами ( $Pas, Pao, Pac$ ). Свойства имеют строковые, логические или числовые значения [9], формируется концептуальная структура единичного решения (см. рисунок 8).

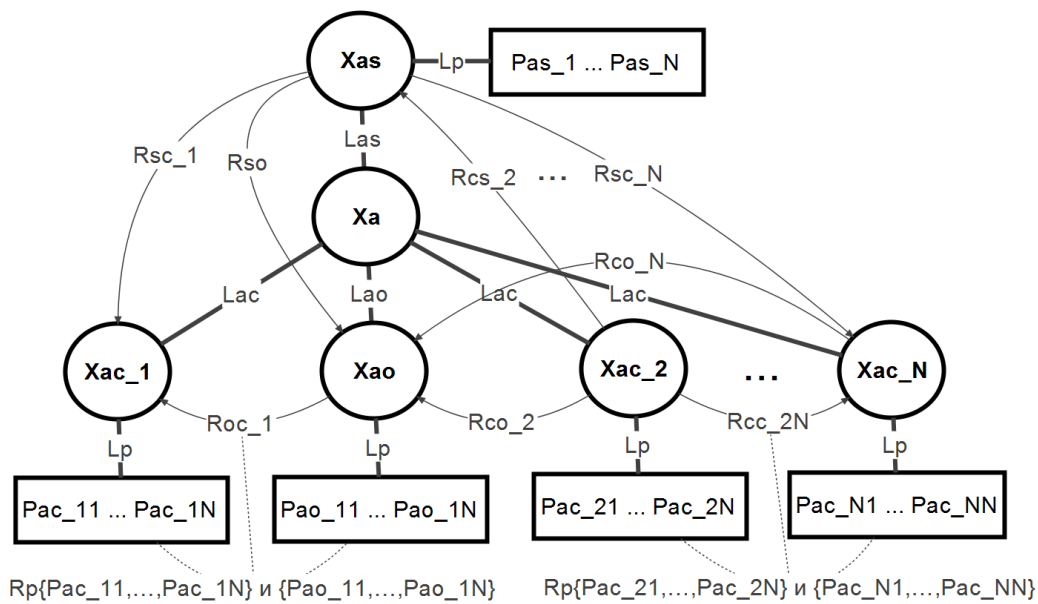


Рисунок 8. – Концептуальная структура единичного решения

Все элементы структуры единичного решения  $d_i$  обладают набором свойств  $P(d_i)$ , образующих множество её концептов –  $C(d_i)$ . Соответственно между свойствами могут существовать свои отношения – соотношения  $Rp(d_i)$ , которые выражены математическими или логическими символами.

Тогда множество концептуальных структур единичного решения ( $D$ ) в формальном виде будет представлено следующим образом [9]:

$$(5) \quad D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}, d_i = z_i \cup q_i, i = \overline{1, m}.$$

Вершины  $d_i$  задают границы каждого действия, определяют операциональное (процедурное) содержание выделенных элементов, которые обладают набором свойств  $P(d_i)$ , образующих множество концептов  $C(d_i)$ , представленное формулой:

$$(6) \quad C(d_i) = \{X(d_i), L(d_i), P(d_i), R(d_i)\}.$$

Концептуальная модель ПрО является результатом логического объединения концептуальных структур:

$$(7) \quad C(D) = \bigcup_{i=1}^n C(d_i).$$

Для объединения  $C(d_i)$  необходимо выполнить ряд операций, аналогичных теоретико-множественным: пересечения, включения, дополнения, разности, объединения и др. Между концептуальными структурами единичных решений может существовать отношение части и целого в случаях, когда единичное решение может быть развёрнуто в дерево решений. Таким образом, на основе совокупности единичных решений реализуется БЗ для экспертного моделирования. Однако широкий диапазон деятельности в сложной среде усложняет определение направления движения к цели (требований к результату). Каждый эксперт видит только цель своей деятельности в ПрО, и в результате может быть не сформирована модель принятия решений.

Проведённым анализом выявлено следующее противоречие: с одной стороны, деятельностный подход не учитывает ситуативный аспект, с другой - ситуативный анализ не даёт чёткого понимания результата деятельности. Для снятия этих недостатков предложено синтезировать данные аспекты в единое представление – концептуальную структуру акта деятельности.

#### 4 Концептуальная структура акта деятельности

Для разработки концептуальной структуры предлагается [10]:

- концептуальную модель динамически сложной среды представить актами деятельности, состоящими из совокупности концептуальных структур единичных решений;
- элементы концептуальной структуры единичного решения описать терминами деятельностного подхода.

Для реализации данных требований необходимо спроецировать вершины схемы акта деятельности на вершины концептуальной структуры единичного решения (см. рисунок 9). При этом необходимо учитывать, что структура единичного решения существует в двух состояниях: до действия как задача, после действия как метод решения задачи. Из рисунка 9 видно, что проекция вершин категориальной схемы акта деятельности на вершины концептуальной структуры единичного решения является биективным (взаимно-однозначным) отображением. Данная проекция позволяет естественным образом формировать концептуальную структуру акта деятельности, которая представлена на рисунке 10 в упрощённом виде (на уровне процессов).



Рисунок 9 – Проекция вершин

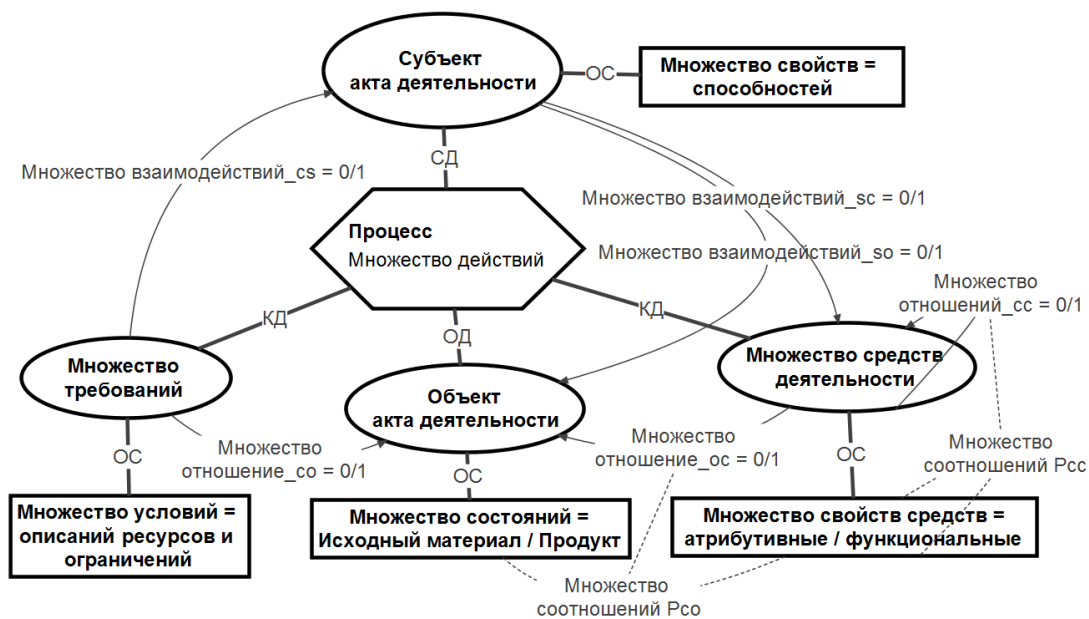


Рисунок 10 – Концептуальная структура акта деятельности



Согласно полю знаний о проблемной ситуации (см. рисунок 7) между концептуальными структурами выполняются на уровне процессов операции пересечения.

- По объекту процесса (см. рисунок 11). Объект участвует в двух или нескольких процессах, которые различны по своему содержанию. При этом продукт одного процесса служит исходным материалом для другого.
- По субъекту процесса. Субъект участвует в двух или нескольких процессах, которые различны по своему содержанию.
- По субъекту и объекту процесса. В данном пересечении выполняются два разных процесса, при этом «Субъект акта деятельности\_1» в «Процессе\_2» представлен как «Объект акта деятельности\_2».
- По объекту и компонентам процесса (средства и требования). Функциональные свойства «Средства акта деятельности\_1» являются продуктом «Объекта акта деятельности\_2». Аналогично можно построить пересечение с компонентом акта деятельности «Требование\_1» и «Объектом акта деятельности\_2».

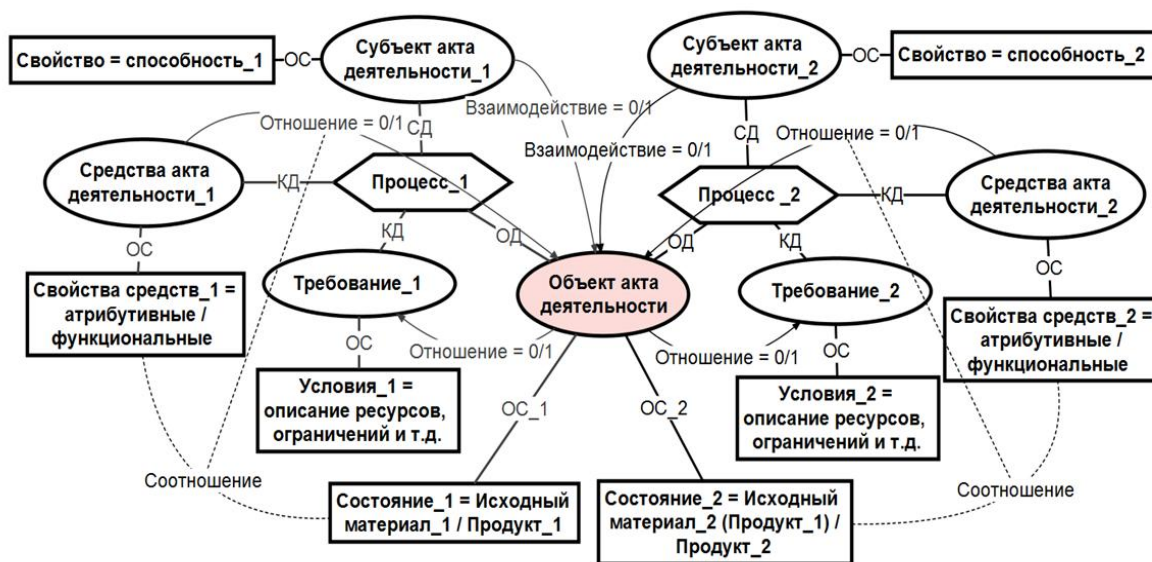


Рисунок 11 – Пересечение концептуальных структур актов деятельности по объекту процесса.

Выявленные пересечения на уровне процессов сопоставимы с пересечениями на уровне действий. Это приводит к возможности построения целостной концептуальной модели принятия решений, которая представлена как матрица единичных решений (на рисунке 12 КСЕР - аббревиатура словосочетания «концептуальная структура единичного решения»).

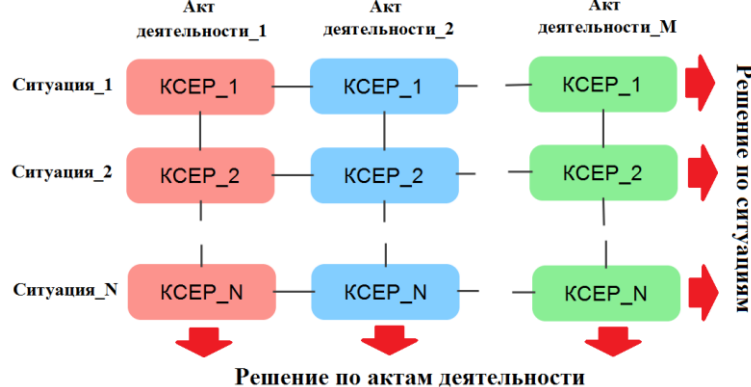


Рисунок 12 – Матрица единичных решений

Матрица решений рассматривается как БЗ для проектирования экспертных систем, в которой может быть проведена проверка на полноту (решения по актам деятельности) и адекватность (решения по ситуациям). Решения по актам деятельности формируют функциональные свойства модели, а решения по ситуациям - структурные.

## 5 Концептуальные планы акта деятельности

Под концептуальным планом акта деятельности понимается определённая часть концептуальной структуры акта деятельности, которая рассматривается как проект для разработки моделей, основанных на знаниях (см. рисунок 13).

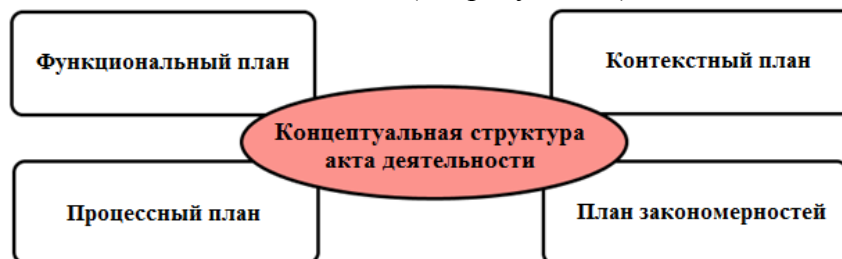


Рисунок 13 – Планы акта деятельности

Для построения концептуальных планов предложено выделять динамические и статические представления структуры акта деятельности. Динамические представления определены планами функций и процессов, а статические - планами контекста и закономерностей. Функциональный план позволяет проектировать дискретно-событийные модели. План процессов позволяет разрабатывать диаграмму потоков и уровней для имитационно-динамических моделей. План закономерностей позволяет проектировать аналитические модели в виде простейших математических уравнений. План контекста позволяет разрабатывать различные модели, основанные на идеях когнитивного подхода.

### 5.1. Функциональный план

Дискретно-событийная модель рассматривается как глобальная схема обслуживания заявок. Аналитические результаты для большого количества частных случаев таких моделей рассматриваются в теории массового обслуживания. Этот подход используется для описания перехода функционирования системы из одного состояния в другое дискретным образом в виде события [11].

Для проектирования сложных дискретно-событийных систем используют SADT-диаграммы (*Structured Analysis and Design Technique* – Метод структурного анализа и проектирования), которые дают промежуточное представление и помогают разработчику избежать ошибок при проектировании [12].

Методология SADT представляет собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной структуры сложных иерархических систем в виде блочной модели [2]. Основной концептуальный принцип методологии SADT – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия, происходящие в изучаемой системе (см. рисунок 14). Семантика языка методологии обусловлена соответствием между блоком и стрелками с одной стороны, функцией и их интерфейсами – с другой. В рамках методологии все, что происходит в системе и её элементах, принято называть функциями, которые соответствуют определённому блоку. Функция  $F$

представлена процессом или действием  $Xa$ , в зависимости от рассматриваемого уровня иерархии, и объектом  $Xa_0$ , на которое воздействует данная активность.

$$(8) \quad F = \langle Xa, Xa_0 \rangle$$

При этом каждая сторона функционального блока (см. рисунок 14) имеет стандартное значение [6]: входная и выходная стрелки отображают данные или материальные объекты, управляющая стрелка отображает условия и стрелка механизма отображает средства, используемые для выполнения функции. По аналогии функциональный план акта деятельности должен быть представлен: входными характеристиками, которые определены исходным материалом; выходными – продуктом; управлением – требованием; механизмом – орудием акта деятельности (см. рисунок 15).

План функциональной структуры акта деятельности на рисунке 15 описывает функцию верхнего уровня, которая редуцирована на частные планы функциональных структур единичных решений. Важный момент при разбиении - точная согласованность типов связей между функциями. Введена типизация связей между функциями по аналогии с методологией SADT.

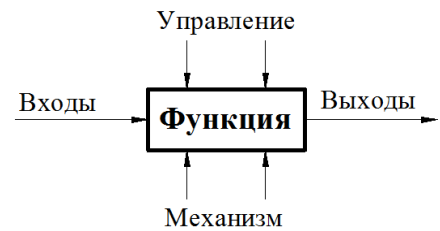


Рисунок 14 – Контекстная диаграмма SADT-модели

- Пересечение по исходному материалу (входному состоянию), который является входной характеристикой нескольких функций. Функции группируются вследствие того, что они используют одни и те же входные данные (см. рисунок 16).
- Пересечение по продукту и исходному материалу. Выход одной функции служит входными данными для следующей функции с меньшим доминированием. При последовательной связности имеет место обратная связь, когда выход функции становится входом другой с большим доминированием. Данная связь используется для описания циклов.
- Пересечение по продукту и свойству одного из компонентов. Выход одной функции служат свойством компоненты для другой, менее доминирующей. При этом функции направлены на достижения одной цели. Поэтому реализуется полная зависимость одной функции от другой.

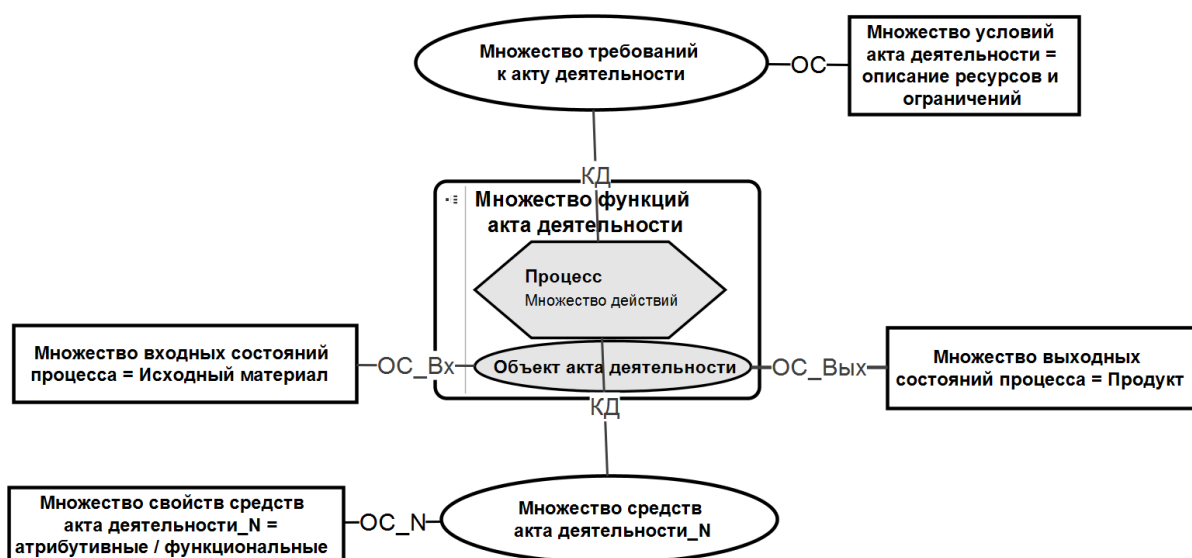


Рисунок 15 – Функциональный план акта деятельности

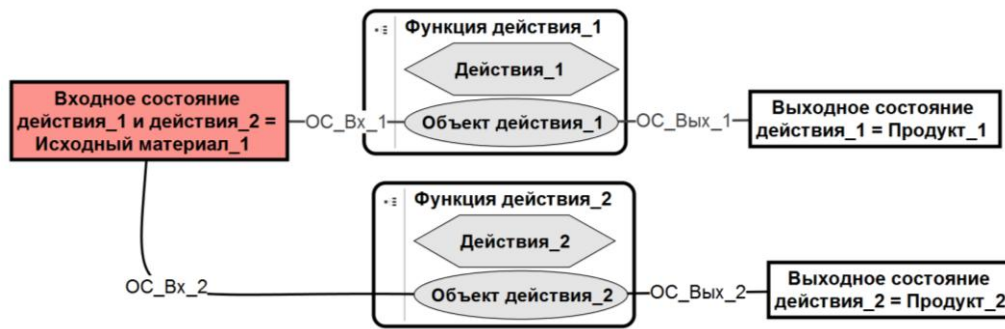


Рисунок 16 – Пересечение по входному состоянию

## 5.2. План процесса

Методология имитационно-динамического моделирования включает качественную и количественную стадии. Базовая структура количественной стадии содержит четыре элемента: уровень (накопитель), функция решения, материальные и информационные потоки [3] (см. рисунок 17).

Уровни представлены количественными показателями исследуемого объекта и характеризуют возникающие накопления внутри системы, представляют собой те значения переменных в данный момент, которые они имеют в результате накопления из-за разности между входящими и исходящими потоками. Содержимое накопителей может иметь любую природу. Материальный поток, вливаясь в уровень или вытекая из него, определяет изменение уровня [13]. Кроме того, различают информационные потоки, с помощью которых принимается решение по управляющим воздействиям (функция решений).

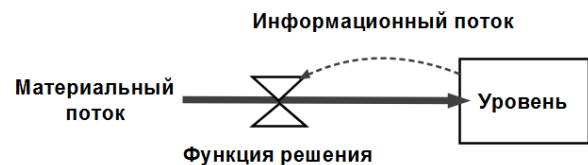


Рисунок 17 – Базовая структура количественной стадии

Для реализации базовой структуры количественной стадии предлагается использовать процессный план акта деятельности, который обусловлен: процессом как совокупностью действий, объектом акта деятельности, его состояниями – исходные материалы и продукты, средствами достижения цели и их свойствами (см. рисунок 18).

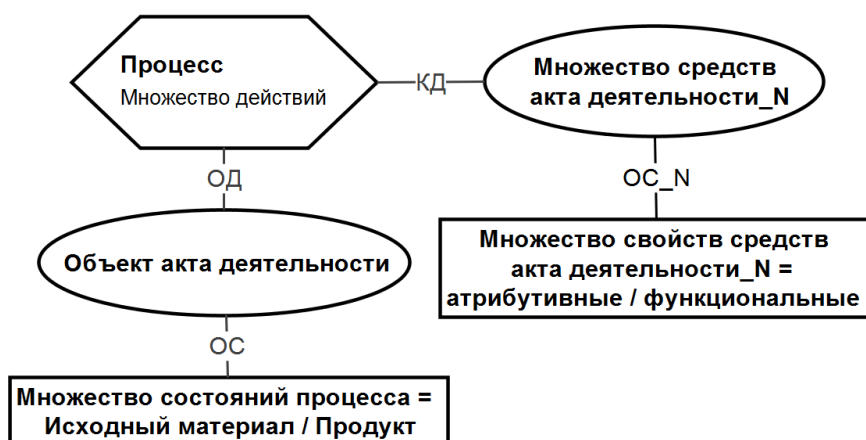


Рисунок 18 – Процессный план акта деятельности

Процессный план акта деятельности описывает процессы верхнего уровня, которые могут быть редуцированы на частные планы единичных решений. При этом одним из важных моментов при разбиении - точная согласованность типов связей между действиями. Введена типизация связей между процессными планами структур единичных решений:

- Тип последовательной связности (см. рисунок 19) – это когда исходное действие должно полностью завершиться, прежде чем начнется выполнение другого действия. Данный тип связи моделирует причинно-следственные зависимости трансформации исходного материала.
- Тип последовательной связности с обратной связью – реализует цикл процесса.
- Тип логической связности. Возможна ситуация, когда завершение одного действия может инициировать начало выполнения сразу нескольких других действий. Данный тип связи моделирует логические зависимости.
- Тип обратной логической связности. Определенное действие может требовать завершения нескольких других действий для начала своего выполнения.

Процессный план оперирует множеством действий, определяется в какое количественное состояние перейдет в будущем объект из заданного текущего состояния. В таблице 1 приведено сравнение графических нотаций плана процессов и диаграммы потоков и уровней (базовой структуры количественной стадии).

Уровень накопителя представлен как объект действия Хао, определённый через связь Lp (OC) одним из количественных состояний: исходный материал или продукт. Поток определён непрерывной активностью Ха, которая представлена действием, перемещающим содержимое между накопителями. Используя гидродинамическую метафору, функция решений есть вентиль, управляющий потоком, который обусловлен средствами акта деятельности {Хас\_1, Хас\_2, ..., Хас\_N} и связью Lp (OC) с его функциональными свойствами Р. Функции решений есть уравнение темпов, отражающее влияние факторов, определяющих действия, которые будут совершаться непосредственно в следующий момент времени.

На основе плана процессов разрабатывается диаграмма потоков и уровней для имитационных динамических моделей [14].

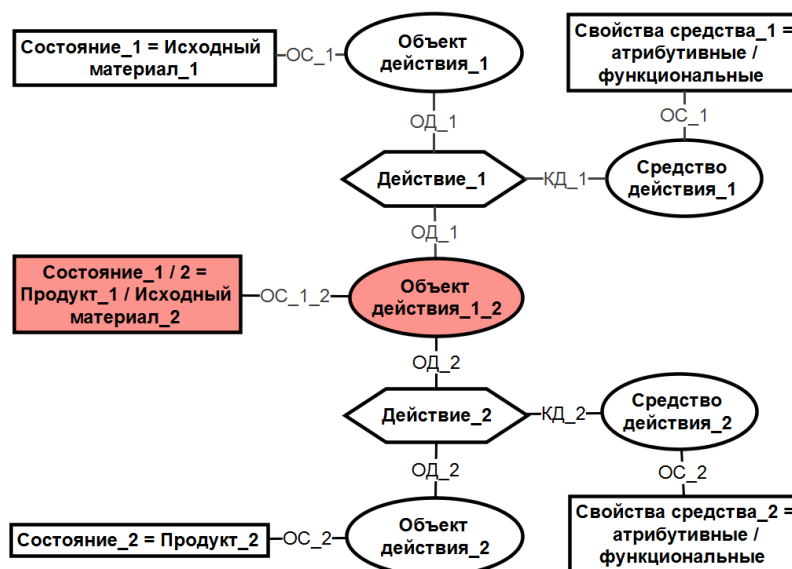







Рисунок 19 – Последовательная связность

Таблица 1 – Сравнение графических нотаций

Графическая нотация диаграммы потоков и уровней	Графическая нотация плана процессов
<p>Уровень накопителя</p> 	
<p>Поток</p> 	
<p>Вентиль</p> 	

### 5.3. План закономерностей

Статические аспекты описывают концептуальную структуру акта деятельности в определённый момент времени (до или после действия). При этом отношения и соотношения являются основными связующими строительными элементами таких концептуальных структур.

Аналитические модели представляют собой уравнения или системы уравнений, записанные в виде алгебраических, интегральных, дифференциальных, конечно-разностных и иных соотношений и логических условий. Эти модели математически верно отражают связь между входными и выходными переменными и параметрами. Но их структура не отражает внутреннюю структуру объекта [15]. Соответственно, такая модель на концептуальном уровне должна иметь статическое представление, которое подходит лишь для очень простых и идеализированных задач и объектов.

План закономерностей определяется множественностью проявляемых свойств объектов концептуальной структуры, которые характеризуются определёнными отношениями ( $R_{oc} = 1, R_{sc} = 1$ ) и соотношениями ( $R_p$ ), тем самым фиксируются закономерности преобразования исходного материала в продукт. При построении плана закономерностей единичного решения необходимо учитывать следующие правила.

- Аналитическая закономерность может быть выявлена объектной частью концептуальной структурой единичного решения. При этом компонент «Требование к объекту действия» в плане закономерностей не учитывается.
- Состояние объекта действия (продукт) ассоциируется с решением, а средства действий с внутренними параметрами уравнения.
- Отношения в плане закономерностей однонаправлены и единичны, т.е. из одного элемента может выходить или входить одно отношение (см. рисунок 20).
- Отношение между объектом и средством действия  $R_{oc}$  и отношения между средствами  $R_{sc}$  представлены отношениями зависимостей и обусловлены типами «увеличивает» или «уменьшает», отношение  $R_{oc}$  – типом «определяет» (см. таблицу 2).
- Соотношения являются ассоциациями отношений зависимостей, которые определены следующими типами: «больше на», «меньше на», «больше в» и «меньше в». Соотноше-

ния ассоциаций в свою очередь могут быть отображены как арифметические действия (см. таблицу 2). Отношение Ros, определённое типом «определяет», отображается как знак равенства.

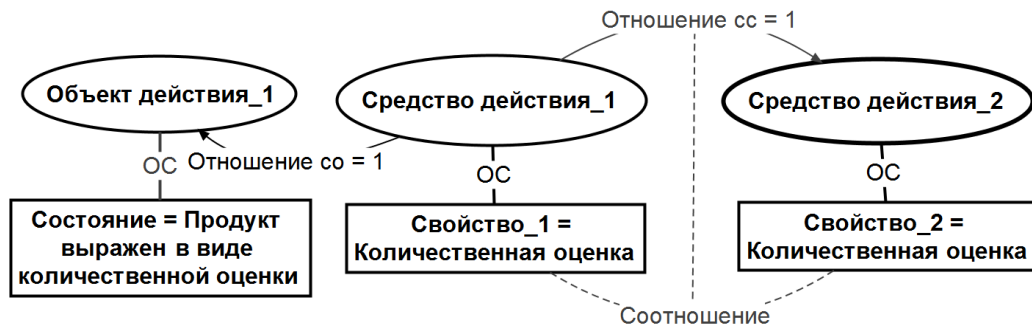


Рисунок 20 – План закономерностей единичного решения

На основе плана закономерностей могут определяться различные аналитические представления, в том числе функции решений (интенсивность потока) для имитационно-динамической модели [14].

Таблица 2 – Ассоциативные правила

ЕСЛИ	ТО	ТО
Тип отношения	Тип соотношения	Тип арифметического действия
увеличивает	больше на	сложение
	больше в	умножение
уменьшает	меньше на	вычитание
	меньше в	деление

#### 5.4. План контекста

Когнитивное моделирование основано на активизации интеллектуальных процессов субъекта и помощи управленцу фиксировать своё представление о проблемной ситуации в виде формальной модели. В качестве такой модели обычно используется так называемая когнитивная карта ситуации (см. рисунок 21), которая представляет известные субъекту основные законы и закономерности наблюдаемой ситуации в виде ориентированного знакового графа, в котором вершины графа – это факторы (признаки, характеристики ситуации), а дуги между факторами – причинно-следственные связи между факторами [9].

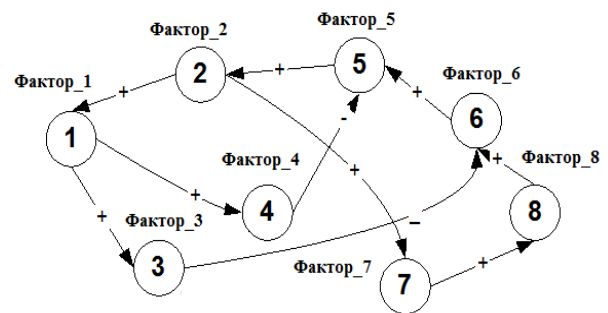


Рисунок 21 – Пример когнитивной карты

В когнитивной карте выделяют два типа причинно-следственных связей: положительные и отрицательные. При положительной связи увеличение значения фактора-причины приводит к увеличению значения фактора-следствия, а при отрицательной связи - к уменьшению значения фактора-следствия. При этом под понятием «фактор» понимается движущая сила, причина какого-нибудь процесса, определяющая его характер или отдельные его черты. Отсюда, когнитивная структуризация ПрО – это выявление будущих

целевых и нежелательных состояний объекта управления и наиболее существенных (базисных) факторов управления и внешней среды, влияющих на переход объекта в эти состояния, а также установление на качественном уровне причинно-следственных связей между ними, с учётом взаимовлияния факторов [9].

Таким образом, в плане контекста должны быть определены следующие элементы: субъект акта деятельности  $X_{as}$ , который взаимодействует с объектом действия  $R_{so}$  и различными компонентами действий  $\{R_{sc\_1}, R_{sc\_2}, \dots, R_{sc\_N}\}$ ; объект акта деятельности  $X_{ao}$ , который существует во взаимодействии с субъектом  $R_{os}$  и с различными отношениями с компонентами  $\{R_{oc\_1}, R_{oc\_2}, \dots, R_{oc\_N}\}$ ; компоненты действия в виде требований и средств акта деятельности  $\{X_{ac\_1}, X_{ac\_2}, \dots, X_{ac\_N}\}$ , которые взаимодействуют с субъектом  $\{R_{cs\_1}, R_{cs\_2}, \dots, R_{cs\_N}\}$  и существуют в отношениях между собой  $R_{cc_{jN}}$  (рисунок 22).

В данном случае под термином «контекст» понимается структура внешней среды, в пределах которой выявляются факторы управления. Статистическое представление плана контекста определено взаимодействиями и отношениями, равными 1, и типами «увеличивает» или «уменьшает».



Рисунок 22 – Контекстный план акта деятельности

На уровне концептуальных структур единичных решений возможны следующие виды пересечений.

- По субъекту акта деятельности. Когда субъект взаимодействует с различными объектами действия как в одном акте деятельности, так и в разных актах.
- По объекту акта деятельности. Когда один и тот же объект в одном акте деятельности представлен как «Продукт\_1», а в другом как «Продукт\_2».
- По одной из компонент действия (требованию или средствам акта деятельности). Когда один и тот же компонент используется в различных актах деятельности.

Соответственно, возможны различные сочетания данных пересечений. Например, по субъекту и средствам, по субъекту и объектам акта деятельности и т.д.

План контекста предназначен не только для проектирования когнитивных моделей, но для лучшего осмысления определённой деятельности и как дополнение к остальным концептуальным планам. Например, для определения качественной стадии в имитационном динамическом моделировании.

## 6 Программный комплекс для проектирования систем поддержки принятия решений

Построение концептуальных моделей – нетривиальная задача, требующая понимания методики деятельностного подхода, ситуационного анализа и системных особенностей ПрО. При этом возникают задачи, которые могут быть быстро и эффективно решены только на программном уровне:



- 1) визуализация концептуальных структур;
- 2) проверка концептуальной модели на полноту и адекватность;
- 3) генерация БЗ для экспертного моделирования;
- 4) генерация БЗ для когнитивного, имитационного и аналитического моделирования.

Для решения первой задачи реализовано программное обеспечение (ПО) «Оформитель», которое определено следующим инструментарием:

*Инструмент узлов* – позволяет создавать различные узлы, которые реализуют функционально-целевую часть (см. формулу 3) и обеспечивающую часть (см. формула 4);

*Инструмент связей* – позволяет создавать различные связи, отношения и соотношения между вершинами концептуальных структур;

*Инструмент текста* – позволяет изменять текстовое содержимое элементов концептуальных структур;

*Инструмент масштабирования* – позволяет увеличить рассматриваемый узел до полноэкранный масштаб для детального изучения его содержимого.

Изображённые в ПО «Оформитель» концептуальные структуры представляются как XML-документ, который представлен виде дерева узлов – это позволяет получить доступ к любому элементу концептуальной структуры. Следовательно, можно изменять и обрабатывать их содержание на программном уровне.

Вторая и третья задачи решаются ПО «Решатель», которое разработано в рамках ситуационного анализа и поддерживает следующий набор функций [16]:

- создание, хранение, модификация, тестирование целостности, слияние пользовательских БЗ продукционного типа;
- организация проведения и оптимизация прямого логического вывода;
- генерация отчётов с текстовыми описаниями БЗ и результатами анализа проблемных ситуаций.

Выполнение данных функций обусловлено взаимодействием основных компонентов модуля интеграции и управления ПО «Решатель»:

- блок формализации знаний (редактор условия задачи + редактор объектов + редактор отношений + редактор базы правил + редактор моделей ситуаций);
- блок доступа к модели ситуации (модель проблемной ситуации + модель текущей ситуации + модель целевой ситуации + модель БЗ);
- блок организации и проведения логического вывода (редактор управления правилами + модуль проведения прямого логического вывода + анализатор ситуаций).

Таким образом, в ПО «Решатель» происходит чтение XML-файла, сохранённого ПО «Оформитель», выделение из него необходимых фрагментов и построение первичной логической структуры, описывающей концептуальные схемы как размеченные ориентированные графы. В случае обнаружения каких-либо синтаксических ошибок в концептуальных структурах, пользователю выдаются соответствующие сообщения.

Также происходит проверка БЗ на полноту и адекватность. Всё множество фактов делится на следующие группы [3]:

- факты, описывающие начальную (или проблемную) ситуацию;
- факты, описывающие целевую ситуацию;
- факты, не включённые в начальную или целевую ситуации, не рассматриваются.

Анализ совокупности концептуальных структур единичных решений на адекватность начинается с установления значений фактов проблемной и целевой ситуации. Если путём логических выводов будет достигнута целевая ситуация, то на основании содержания сгенерированного текстового отчёта устанавливается факт об адекватности и полноте вырабатываемых рекомендаций для соответствующей БЗ. Для концептуальной модели

динамически сложной среды исследование на полноту и адекватность осуществляется путём проверки логических выводов по актам деятельности и по ситуациям (см. рисунок 12). Полнота проверяется по классам ситуаций. При этом если логический вывод прерывается по причине невозможности применения правил к начальной ситуации, то БЗ не полна либо неверно настроена стратегия управления правилами. Проверка на адекватность обусловлена логическими выводами по классам актов деятельности. Полученный отчёт о результатах вывода должен соответствовать логике моделируемого процесса акта деятельности. При обнаружении неполноты или неадекватности следует доработать БЗ, или попытаться применить другие стратегии управления правилами.

БЗ продукционных правил реализуется в текстовом файле, в котором указываются:

- основные элементы концептуальной модели;
- имя правила <Субъект Действие Объект>;
- содержание правила в виде следующего конструкта: ЕСЛИ <Условия до действия>, ТО ВЫПОЛНИТЬ ДЕЙСТВИЕ <Условия после действия>.

Продукционные правила описывают предусловия, которым должны удовлетворять состояния участвующих в действии объектов, и правила изменения состояний объектов в конце соответствующего действия.

Четвертая задача решается ПО «Интерпретатор», которое разделяется на два блока динамических и статических знаний.

В отчёте динамической БЗ функционального плана определяются следующие элементы:

- функция – [Действие\_N Объект\_N];
- входное свойство функции – [Свойство объекта\_N до действия\_N];
- выходное свойство функции – [Свойство объекта\_N после действия\_N];
- механизмы функции – [Средства действия\_N];
- инструкции по управлению функцией – [Требования к акту деятельности\_N].

В текстовом файле функционального плана указываются выявленные пересечения и предлагаются рекомендации по его построению в виде различных конструктов. Например: Вход <Свойство объекта\_N до действия\_N> → Функция <Действие\_N Объект\_N> → Выход <Свойство объекта\_N после действия\_N>.

В отчёте основными элементами БЗ процессуального плана являются:

- уровень – [Объект\_N Количество: = <Свойство объекта до действия>] и [Объект\_N Количество: = <Свойство объекта после действия>];
- поток – [Действие\_N].

В текстовом файле процессного плана указываются выявленные пересечения, предлагаются рекомендации по его построению в виде следующего конструкта: Уровень\_1 <Объект\_N Количество: = 'Свойство объекта\_N до действия\_N' → Поток <Действие\_N> → Уровень\_1 <Объект\_N Количество: = 'Свойство объекта\_N после действия\_N'.

В отчёте основными элементами БЗ плана закономерностей являются:

- уравнение – [Объект\_N];
- параметр – [Объект\_N Свойство средства\_N после действия\_N];
- математический знак – [Соотношение];
- знак равенства – [Отношение <Определяет>].

В текстовом файле плана закономерностей предлагаются рекомендации по его построению в виде следующего конструкта: Уравнение <Объект\_N> Знак равенства <Отношение 'Определяет'> Параметр <Объект\_1 Свойство средства\_1 после действия\_1> Математический знак <Соотношение> Параметр <Объект\_2 Свойство средства\_2 после действия\_2> и т.д.

В отчёте основными элементами БЗ контекстного плана являются:

- факт взаимодействия – [Субъект Взаимодействие Объект\_N], [Субъект Взаимодействие Средство\_N] и [Субъект Взаимодействие Тредование\_N];
- факт отношения – [Средство\_N-1 Отношение Средство\_N], [Требование\_N-1 Отношение Тредование\_N] и [Средство\_N Отношение Тредование\_N];
- факт появления продукта – [Объект\_N Свойство объекта\_N после действия\_N].

В текстовом файле контекстного плана указываются выявленные пересечения. Установление фактов является рекомендациями к разработке когнитивных моделей.

Совокупность взаимодействующего ПО создаёт программный комплекс (ПК) «Оформитель + Решатель + Интерпретатор», который позиционируется как интеллектуальная надстройка для проектирования интеллектуальных моделей (см. рисунок 23).

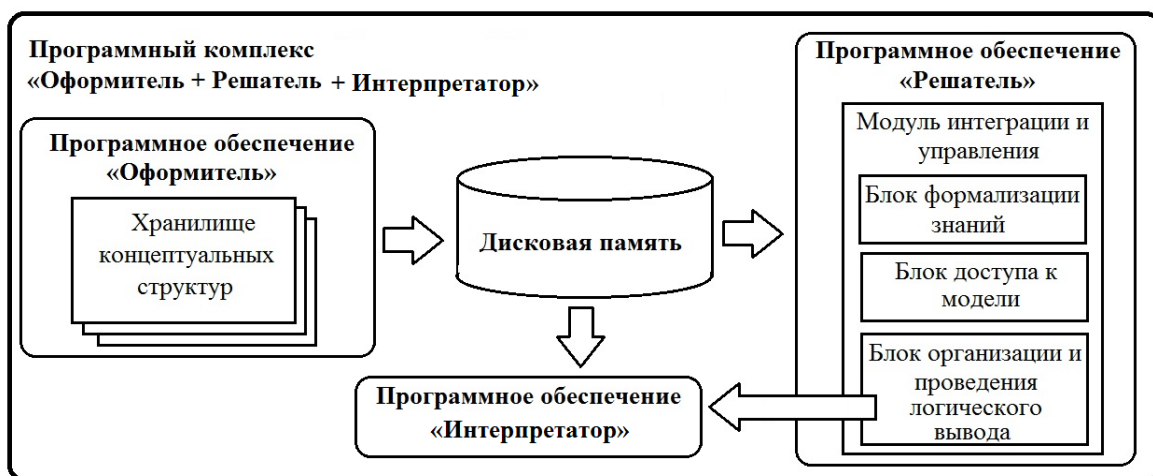


Рисунок 23 – Программный комплекс «Оформитель + Решатель + Интерпретатор»

Реализованная интеллектуальная надстройка (ПК «Оформитель + Решатель + Интерпретатор») проектирования моделей СППР представлена «витриной знаний» о динамически сложной среде. Работа ПК определена следующим алгоритмом.

- 1) Эксперт устанавливает направление цели по трансформации динамически сложной среды, согласно своему взгляду на проблемную ситуацию. Выделяет деятельности, которые способствуют и препятствуют движению трансформации, тем самым определяются границы ПрО. В каждой деятельности определяются её акты. Данные умозаключения реализуются в ПО «Оформитель» как иерархическая структура со всевозможными вложениями уровней деятельности.
- 2) После определения актов деятельности в ПО «Оформитель» реализуются их концептуальные структуры и разбиваются на множество концептуальных структур единичных решений, которое определено как целостная концептуальная модель принятия решений.
- 3) В ПО «Решатель» целостная концептуальная модель принятия решений проверяется на полноту и адекватность. При необходимости генерируется отчёт о БЗ в виде производственных правил.
- 4) После подтверждения полноты и адекватности модели в ПО «Интерпретатор» генерируются отчёты о БЗ концептуальных планов. Синтез БЗ соответствует имитационным, аналитическим, эволюционным и когнитивным моделям, а также их комбинациям.

## Заключение

Предложенная методика концептуального проектирования на основе синтеза деятельностного подхода и ситуационного анализа позволяет рассматривать проблемные ситуации через «призму» построения концептуальных структур актов деятельности. Концептуальная структура акта деятельности представлена как совокупность единичных решений. В концептуальной модели реализуется верхний уровень (процессов) и нижний уровень (действий). При этом совокупность концептуальных структур единичных решений создаёт целостную модель принимаемых решений для проектирования БЗ для СППР.

Разбиение концептуальной структуры акта деятельности на частные представления даёт возможность реализовать иные аспекты БЗ моделей ИИ. Объединение ситуационных, имитационных, экспертных и эволюционных моделей осуществляется на основе единого языка графического описания. На программном уровне создана «витрина знаний» для проектирования БЗ интеллектуальных СППР.

## Список источников

- [1] **Brehmer, B.** Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica*. 1992; 81(3): 211-241.
- [2] **Вендров, А.М.** CASE–технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А.М. Вендров. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 176 с.
- [3] Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с.
- [4] **Черняк, Ю.И.** Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. - М.: Экономика, 1975. - 191 с.
- [5] **Анохин, П.К.** Философские аспекты теории функциональной системы: избранные труды / П.К. Анохин. - М.: Наука, 1978. - 399 с.
- [6] **Юдин, Э.Г.** Системный подход и принцип деятельности: Методологические проблемы современной науки / Э.Г. Юдин. - М.: Наука, 1978. - 391 с.
- [7] **Щедровицкий, Г.П.** Избранные труды / Г.П. Щедровицкий // М.: Шк.Культ.Полит. 1995. - 800 с.
- [8] **Скобелев, П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования, №1(3), 2012, - С. 6-38.
- [9] **Болотова, Л.С.** Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л.С. Болотова // М.: Финансы и статистика. 2012. - 663 с.
- [10] **Сорокин, А.Б.** От системных представлений к концептуальному моделированию / А.Б. Сорокин // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды XX Международной конф. (29 июня – 1 июля 2016 г., Санкт-Петербург, Россия) СПб: СПб политех. универ, 2016, Ч. 1. - С. 137 - 149.
- [11] **Боев, В.Д.** Компьютерное моделирование / В.Д.Боев, Р.П. Сыпченко // М.: ИНТУИТ.РУ, 2010. - 349 с.
- [12] **Емельянов В.В.** Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов / В.В. Емельянов, С.И. Ясиновский // М.: «АНВИК», 1998. – 427 с.
- [13] **Forrester, Jay W.** *Industrial Dynamics*; Cambridge, Mass, The MIT Press. 1961.
- [14] **Sorokin, A.B.** The evolutionary model as the projection methodology situationally - activity analysis and its realization on the example of the model against the development of infectious diseases // Collection of scientific papers «Interactive systems: Problems of Human-Computer Interaction» (10-12 September, Ulyanovsk, Russia) / A.B. Sorokin, L.S. Bolotova // Ulyanovsk: 2015. pp. 120–130.
- [15] **Васильев, К.К.** Математическое моделирование систем связи / К.К. Васильев, М.Н. Служивый // Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 170 с.
- [16] **Болотова, Л.С.** Концептуальное проектирование модели предметной области при помощи программных систем поддержки принятия решений / Л.С. Болотова, В.А. Смольянинова, С.С. Смирнов // Научно-технические технологии, 2009. Т. 10. № 8. - С. 23 - 28.

## CONCEPTUAL DESIGN OF INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS

**A.B. Sorokin**

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia  
ab\_sorokin@mail.ru

### Abstract

In article the original technique of conceptual design of decision support systems for solving of problems in dynamically difficult environment is explained. For creation of conceptual model, it is offered to research dynamically difficult environment in three aspects: system views, activity approach (G.P. Shhedrovickij) and situation analysis (L.S. Bolotova). The triad of the considered representations leads to the construction of the conceptual structure of the act of activity, which is positioned as a knowledge base for the design of expert systems of the production type. From the realized conceptual structure, particular representations are distinguished: functions, processes, context and regularities. This makes it possible to determine the necessary field of knowledge about the subject area for the implementation of cognitive, analytical, evolutionary and simulation models. However the graphic construction of the conceptual model of a dynamically complex environment and its particular representations is a complex and nontrivial task. Therefore, the program complex "Designer + Solver + Interpreter" is developed, which verifies the conceptual model of a dynamically complex environment on completeness and adequacy, and also generates the necessary knowledge base for the design of intelligent models in the form of text files.

**Key words:** system, activity, categorical scheme, field of knowledge, situational analysis, matrix of decisions, conceptual plans, show-window of knowledge.

**Citation:** Sorokin AB. Conceptual design of intelligent decision support systems. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 247-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.

### References

- [1] **Brehmer B.** Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica*.1992. 81(3). pp. 211 – 241.
- [2] **Vendrov AM.** CASE-technologies. Contemporary Methods and Means of Information System Design [In Russian] Moscow: Finansy Statistika, 1998.
- [3] **Volkova VN., Emel'janov AA. (Eds).** Theory of Systems and System Analysis in Management of Organizations: A Handbook and Tutorial [In Russian] Moscow: Finansy&Statistika, 2006.
- [4] **Chernjak JuI.** System analysis in economic management [In Russian] Moscow: Economy, 1975.
- [5] **Anohin PK.** Philosophical aspects of the theory of a functional system: selected works [In Russian] Moscow: Nauka, 1978.
- [6] **Judin JeG.** System approach and principle of activity: Methodological problems of modern science [In Russian] Moscow: Nauka, 1978. – 391 p.
- [7] **Shhedrovitskii GP.** Selected Works [In Russian] Moscow: Publisher "School of Cultural Policy", 1995. - 800 p.
- [8] **Skobelev PO.** Activity ontology for situational management of enterprises in real time [In Russian]. *Ontology of designing*. 2012; 1(3): 6-38.
- [9] **Bolotova LS.** Artificial Intellect Systems: Models and Technologies, Based on Knowledge [In Russian] Moscow: Finansy&Statistika, 2012.
- [10] **Sorokin AB.** From system representations to conceptual modeling [In Russian]. System analysis in design and management: Proc. of the XX Int. Conf. (St. Petersburg, Russia, 2016, June 29 - July 1). St. Petersburg: St.Petersburg Polytechnic University, 2016, P.1: pp. 137–149.
- [11] **Boev VD., Sypchenko RP.** Computer Modelling [In Russian] Moscow: INTUIT.RU, 2010. - 349 p.
- [12] **Emel'janov VV., Jasinovskij SI.** Introduction to intelligent simulation of complex discrete systems and processes [In Russian] Moscow: «ANVIK», 1998. – 427 p.
- [13] **Forrester JW.** Industrial Dynamics. Cambridge, Mass, The MIT Press. 1961.
- [14] **Sorokin AB., Bolotova LS.** The evolutionary model as the projection methodology situationally - activity analysis and its realization on the example of the model against the development of infectious diseases [In Russian]. Col-

lection of scientific papers «Interactive systems: Problems of Human-Computer Interaction» (10-12 September, Ulyanovsk, Russia) Ulyanovsk: 2015. pp.120–130.

- [15] **Vasil'ev KK., Sluzhivyy MN.** Mathematical modeling of communication systems [In Russian]. Ulyanovsk: UIG-TU, 2008.
- [16] **Bolotova LS., Smol'janinova VA., Smirnov SS.** Conceptual design of the domain model using software decision support systems [In Russian]. Naukoemkie tehnologii. 2009; 10(8): 23-28.
- 

### Сведения об авторе



**Сорокин Алексей Борисович**, 1963 г. рождения. Окончил Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана в 1991 г, Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (магистратура, 2012), к.т.н. (2015). Доцент кафедры вычислительной техники Московского технологического университета (МИРЭА). В списке научных трудов более 20 работ в области создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

**Sorokin Aleksej Borisovich** (b. 1963) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 1991, Moscow State University of Radioengineering, Electronics and Automation in 2012 (magistracy), PhD (2015). He is associate professor of the Department of Computing Technology of the Moscow Technological University (MIREA). He is co-author more than 20 scientific articles and abstracts in the field development of intelligent decision support systems.

УДК 004.82

## **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**О.И. Лахин, Ю.С. Юрыгина, А.С. Анисимов**

*ООО «НПК «Разумные решения», Самара, Россия  
info@smartsolutions-123.ru*

### **Аннотация**

Актуальной проблемой ракетно-космической промышленности является повышение эффективности использования накопленных знаний в виде разнородных документов, описывающих результаты интеллектуальной деятельности. Для решения этой задачи предлагается использовать систему управления знаниями предприятий ракетно-космической промышленности, построенной на основе новых технологий. Новизна заключается в использовании онтологии доменов (Semantic Web) и «мультиагентного Интернета» в качестве интеллектуальной базы для управления знаниями предприятий ракетно-космической промышленности и всей отрасли. В работе проведён анализ и сравнение доступных онтологических редакторов, отмечены их достоинства и недостатки. Рассмотрен пример использования предлагаемого подхода для описания онтологии, а также представлен механизм создания семантического дескриптора на базе конструкторской и эксплуатационной документации на изделие. Результатом являются разработанные методы и средства для построения систем управления знаниями. Практическое использование системы управления знаниями позволит улучшить эффективность повторного использования результатов интеллектуальной деятельности, повысить производительность работы специалистов предприятий ракетно-космической промышленности за счёт семантизации накопленного материала, а также смысловую поддержку процессов коммуникации и взаимодействия специалистов и экспертов отрасли.

**Ключевые слова:** *корпоративные знания, интеллектуальная собственность, инновации, управление знаниями, предметные онтологии, мультиагентные технологии.*

**Цитирование:** *Лахин, О.И.* Принципы построения системы управления знаниями предприятий ракетно-космической промышленности / О.И. Лахин, Ю.С. Юрыгина, А.С. Анисимов // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С.270-283. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-270-283.

### **Введение**

Задача повышения эффективности использования накопленных знаний и инноваций является одной из ключевых как для предприятий ракетно-космической промышленности (РКП), так и многих других отраслей. Увеличение сложности решаемых задач на современных предприятиях РКП, высокая динамика изменений сложных проектов, постоянное повышение требований заказчика в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ к срокам реализации проектов и подтверждению стоимостных показателей заставляют искать новые подходы к повышению эффективности выполнения работ [1].

Деятельность отдельных сотрудников, коллективов и организаций сейчас всё в большей степени зависит от имеющейся у них информации и способности эффективно использовать её. В реалиях современного мира РКП является сложной закрытой системой со своими специфическими задачами и проблемами. Это обуславливает, с одной стороны, громадный объём информации и знаний, уже существующих и используемых специалистами отрасли, а с другой стороны, скорость развития технологий и производства требует от предприятий РКП усовершенствования различных внутренних процессов за счёт притока новых знаний и агрегации уже имеющегося опыта. Существующее противоречие между закрытостью отрасли и

необходимостью сохранения и пополнения интеллектуальных ресурсов порождает потребность в единой общедоступной расширяемой базе знаний РКП.

Постоянное возрастание объемов новых, порой неструктурированных знаний, которые, в лучшем случае, хранятся в электронном виде в различных источниках, но часто являются просто накопленными знаниями в головах специалистов, усложняет задачу поиска и работы с этой информацией, что подтверждает актуальность поставленной задачи по сбору и структурированию данных в единую базу.

Для решения описанных выше потребностей предприятий РКП в настоящей работе предлагается создание системы управления знаниями (СУЗ) предприятий РКП для построения корпоративной сети управления знаниями, содержащимися в технической документации разработчиков, в патентах, в публикациях и других результатах интеллектуальной деятельности. При этом на основе СУЗ будет обеспечена поддержка управления жизненным циклом инноваций: от начальной формулировки новой идеи, формирования творческой команды участников проекта и его соисполнителей для подготовки первого предложения – до поиска заказчиков, источников финансирования и промышленной реализации новой продукции.

В качестве методической основы создания СУЗ, которая должна удовлетворять перспективному видению Industry 5.0 (на основе умного Интернета людей и вещей), предлагается применить теорию сложных систем, сетецентрический подход, базы знаний и мультиагентные технологии для использования фундаментальных принципов самоорганизации и эволюции при управлении знаниями и инновациями [2].

Пользователями СУЗ смогут стать предприятия РКП, высшие учебные заведения и учреждения академии наук, крупные, средние и малые инновационные технологические компании, венчурные фонды, фонды перспективных исследований, банки, страховые компании и т.д. При этом пользователям СУЗ будет обеспечена смысловая поддержка процессов коммуникации и взаимодействия, что позволит преодолевать барьеры между предприятиями за счёт формирования единой базы знаний отрасли и открытого для всех предприятий активного экспертного сообщества.

Основным результатом создания СУЗ станет повышение эффективности использования знаний при выполнении проектов НИОКР на предприятиях РКП и принятия решений по управлению ресурсами в инновационных проектах.

## 1 Обзор инструментов для работы с онтологиями

Известно, что одним из достоинств применения онтологии является наличие инструментального программного обеспечения, предоставляющего общую доменно-независимую поддержку онтологического анализа. Существует целый ряд инструментов такого рода, поддерживающих редактирование, визуализацию, документирование, импорт и экспорт онтологий разных форматов, их представление, объединение, сравнение.

Наиболее популярными инструментами являются: Protégé; DOE; OntoEdit; OilEd; WebOnto; FluentEditor; PalantirGotham. Рассмотрим их подробнее.

*Protégé* – локальная Java программа, предназначенная для построения (создания, редактирования и просмотра) онтологий моделей прикладной области. Protégé включает редактор онтологий, позволяющий проектировать онтологии, разворачивая иерархическую структуру абстрактных или конкретных классов и слотов. Структура онтологии аналогична иерархической структуре каталога. Первые версии Protégé были основаны на фреймовой модели представления знания ОКВС (Open Knowledge Base Connectivity). На основе сформированной онтологии Protégé позволяет генерировать формы получения знаний для введения экземпляров классов и подклассов. Инструмент поддерживает использование языка OWL (Web Ontology



Language) и позволяет генерировать html-документы, отображающие структуру онтологий. Использование фреймовой модели представления знаний ОКВС позволяет адаптировать инструмент и для редактирования моделей предметных областей (ПрО), представленных не в OWL, а в других форматах (UML, XML, SHOE, DAML+OIL, RDF, RDFS и т. п.). Последняя версия Protégé основана на использовании семантических сетей для описания онтологий.

Редактор *Protégé-OWL* – позволяет пользователям строить онтологии для семантической паутины, в частности, на OWL. OWL-онтология может включать описания классов, свойств и их экземпляров. Предоставляя такую онтологию, формальная семантика OWL определяет, как получать логические следствия, т.е. факты, которые не присутствуют непосредственно в онтологии, но могут быть выведены из существующих. Эти выводы могут быть основаны на одном документе или на множестве распределённых документов, которые были объединены с использованием определённых механизмов OWL [3].

*DOE* (от англ. Differential Ontology Editor) – простой редактор, который позволяет пользователю создавать онтологии. Процесс спецификации онтологии состоит из трёх этапов. На первом этапе пользователь строит таксономию понятий и отношений, явным образом очерчивая позицию каждого элемента (понятия) в иерархии. Затем пользователь указывает, в чём специфика понятия относительно его «родителя» и в чём это понятие подобно или отлично от его «братьев». В результате этих процедур получается подробное описание понятий и их определений. Наряду с построением деревьев понятий на данном этапе формируются и деревья отношений. В рамках этого шага предполагается также добавление дополнительной лингвоспецифичной информации (для конкретного языка: предпочтительный термин, энциклопедическое определение, синонимы). Результатом описанных действий является создание так называемой дифференциальной онтологии. На следующем этапе разработчики, пользующиеся DOE, получают возможность сформировать ещё одну, так называемую референциальную онтологию, в которую включаются отдельные экземпляры, дополняются и конкретизируются отношения. Описанной методологии подчинено создание онтологий в рамках DOE и на этих же принципах базируется весь инструмент: его структура и интерфейс [4].

*OntoEdit* – автономное Java-приложение, которое выполняет проверку, просмотр, кодирование и модификацию онтологий. К достоинствам инструмента можно отнести удобство использования, методологию разработки онтологии с помощью процесса логического вывода, возможность разработки аксиом, возможность расширения посредством плагинов, поддержку различных языков представления (Flogic, включая машину вывода, OIL, расширение RDFS и внутреннюю, основанную на XML, сериализацию модели онтологии при использовании OXML), а также очень хорошую документацию.

*OilEd* – автономный графический редактор онтологий. Инструмент основан на языке OIL (OSEK Implementation Language) (в перспективе – адаптация для OWL), который сочетает в себе фреймовую структуру и выразительность дескриптивной логики с сервисами рассуждения, что обеспечивает понятный и интуитивный стиль интерфейса пользователя, а также преимущества поддержки рассуждения (обнаружение логически противоречивых классов и скрытых отношений подкласса). Из недостатков можно выделить отсутствие поддержки экземпляров.

*WebOnto* – онтологический редактор, разработанный для Tadzebao – инструмента исследования онтологий, предназначен для поддержки совместного просмотра, создания и редактирования онтологий. Для моделирования онтологий WebOnto использует язык OCML (Operational Conceptual Modeling Language). В WebOnto пользователь может графически создавать структуры, включая классы с множественным наследованием. Инструмент проверяет вновь вводимые данные с помощью контроля целостности кода OCML. Инструмент имеет ряд полезных возможностей: сохранение структурных диаграмм, отдельный просмотр от-

ношений, классов, правил, совместную работу нескольких пользователей над онтологией, использование диаграмм, функций передачи и приёма и др.

*FluentEditor* – является комплексным инструментом для редактирования и обработки сложных онтологий, в основе которого лежит контролируемый естественный язык (Controlled Natural Language, CNL). Данный редактор обеспечивает дружественный интерфейс для пользователей, не знакомых с принципами XML, и создаёт комфортные условия для создания онтологий, что заметно отличает его от других редакторов. Можно выделить следующие основные возможности *FluentEditor*:

- создание онтологий путём записи выражений на естественном языке (используется английский, но возможна русификация);
- импорт/экспорт онтологий в формат OWL;
- поддержка обращений к внешним онтологиям;
- поддержка модальных выражений (ограничения, налагаемые на элементы модели);
- встроенный вычислитель логических выражений – reasoner;
- реализована поддержка семантических конструкций, соответствующих стандарту ISO 15926;
- возможность работы в составе семантического фреймворка Ontorion.

Главное достоинство *FluentEditor* состоит в том, что при составлении модели данных, которыми будут обмениваться информационные системы, не нужно знать синтаксис OWL, т.к. моделирование происходит на естественном языке [5].

Компания Cognitum также представляет решение более высокого уровня – семантический фреймворк Ontorion, облачное, масштабируемое решение для хранения больших онтологий и управления ими. Основные возможности фреймворка Ontorion:

- полная поддержка OWL2/SWRL;
- поддержка логики OWL-DL и OWL-EL;
- совместимость с OWL API, что позволяет использовать его в сотрудничестве с другими инструментами;
- поддержка контролируемого естественного языка (CNL);
- встроенный вычислитель логических выражений (reasoner);
- размещение в облаке (Windows Azure / Cassandra; возможно размещение на платформе Linux);
- поддержка совместной работы над онтологиями по алгоритму систем контроля версий (update/commit);
- настройка прав доступа, аудит безопасности;
- масштабируемость, высокая производительность и безопасность;
- совместимость с Linked Data и с Solr/Lucene;
- встроенный механизм мэппинга онтологий [6].

*PalantirGotham* – гибкая, объектно-ориентированная модель данных, включающая в себя динамическую онтологию – средство, с помощью которого данные из нескольких источников трансформируются из исходных форматов хранения в объекты данных и связанных с ними свойств, которые представляют собой реальные объекты в мире – людей, места, вещи, события, а также связи между ними [7]. Ввиду субъективного взгляда и высоких темпов изменения объектов и событий внешнего мира, существует потребность в динамической онтологии, способной удовлетворить данным требованиям.

*Онтология Palantir* является промежуточным звеном между обобщёнными (nosemantic) и узкоспециализированными (over-defined semantic) онтологиями, имея в своей основе три типа жесткозакреплённых понятий: объект, признак и взаимоотношение. Объекты жёстко подразделяются на документы, сущности и события [8]. По мере адаптации к конкретной Про

элементы онтологии могут быть добавлены/удалены/отредактированы. Используемая унифицированная модель данных значительно упрощает и сокращает процесс интеграции данных.

Однако, несмотря на преимущества существующих программных инструментов для работы с онтологиями, с их помощью нельзя построить предлагаемую СУЗ, которая должна обеспечить решение следующих функциональных задач:

- формировать ключевые классы понятий и отношений онтологии ПрО;
- пополнять базу знаний объектами ПрО с помощью описания их семантических дескрипторов, построенных на основе понятий и отношений онтологии;
- специфицировать с помощью семантических дескрипторов пользовательские запросы для получения желаемых материалов;
- выполнять поиск на основе матчинга между собой семантических дескрипторов документов и профилей пользователей на внутреннем виртуальном рынке СУЗ;
- динамически (адаптивно по событиям) перестраивать связи между информационными объектами и пользователями;
- описывать бизнес-процессы для решения различных задач;
- моделировать и поддерживать взаимодействие специалистов и экспертов в потоке событий, связанных с поступлением новых материалов и изменением их рейтинга;
- сохранять версии формирующейся сети материалов и пользователей в специальном хранилище данных;
- визуализировать и анализировать сеть знаний для выявления наиболее востребованных материалов.

Для решения поставленных задач перед СУЗ предприятий РКП предлагается её построение на основе использования предметных онтологий и мультиагентных технологий.

## **2 Принципы построения СУЗ**

В основе предлагаемого подхода для построения СУЗ лежит использование предметных онтологий и мультиагентных технологий. Онтология используется для создания баз знаний, которые позволяют систематизировать, накапливать и повторно использовать объекты знаний различной природы.

Для конструирования онтологии предлагается использовать в качестве базиса мета-онтологию «модель Аристотеля», которая предоставляет следующие базовые концепты для описания ПрО: «объект», «атрибут», «отношение», «свойство», «действие», «процесс» [9]. Главным отличием этой мета-онтологии является ориентация на создание онтологий деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени, при этом можно выделить следующие особенности:

- существуют объекты, которые обладают свойствами и характеризуются состояниями;
- свойства выражают способность объектов вступать в процессы взаимодействия;
- отношения между объектами могут отражать структурные, функциональные, временные или любые другие виды связей;
- чтобы выполнить действие над объектом, необходимо соблюдать определённые условия, которые задаются свойствами и отношениями;
- действия (процессы) изменяют состояния объектов, их свойства и отношения;
- свойства, отношения и действия характеризуются значениями атрибутов;
- атрибуты объекта/отношения являются качественной или количественной характеристикой понятия;

- правила являются обобщёнными понятиями для формализованных условий вида «если-то» (предикатов) и высказываний (утверждений, аксиом, фактов).

Однако, несмотря на многообразие доступных инструментов для работы с онтологиями, ни один из них не позволяет описывать ПрО на основе предложенной «модели Аристотеля», предназначенной для формализации сложных разнородных знаний. Для описания и повторного использования знаний предприятий РКП предлагается использовать СУЗ, реализующую предложенный подход и позволяющую поддерживать онтологии деятельности, используя основные концепты «модели Аристотеля», и на её основе развивать базу знаний предприятий РКП.

Разработанная онтология будет содержать базовые классы понятий и отношений ПрО РКП для спецификации организаций, изделий, технологических процессов, результатов работы, опыта, квалификации и компетенций специалистов и экспертов, участвующих в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий РКП. Классы понятий и отношений, задаваемых онтологией, используются далее для создания базы знаний и построения семантических дескрипторов идей, людей, задач, изделий, результатов и т.д.

Например, для заданного изделия можно будет описать: из каких основных частей оно состоит по схеме деления, какие предприятия участвуют в разработке данных элементов, кто генеральный конструктор каждой из частей, каковы компетенции и опыт каждого конструктора, какие патенты лежат в основе изделия, где можно найти публикации по результатам испытания изделия, кто проводил испытания, какие были доработки и т.д. Каждый такой дескриптор, представляющий собой, в отличие от обычных ключевых слов (тэгов), семантическую сеть на основе онтологии ПрО, может описывать (аннотировать) содержание любого «кванта» знаний (по сути – модель ситуации), включая тексты статей или патентов, 3D-модели, фото или видео-сюжет, таблицы с данными экспериментов или модельных и натуральных расчётов и т.д.

Разработанные дескрипторы становятся входными данными и результатами работы для программных агентов, представляющих собой простейшую сеть потребностей и возможностей, где, например, документы рассматриваются как возможности, а потребители информации – как потребности. Работа СУЗ основана на постоянном матчинге (поиске соответствий) между потребностями и возможностями, равно как и между ними самими, для формирования группировок (коалиций), приобретающих большую важность и значимость для пользователей. В результате предлагаемая СУЗ будет представлять собой самоорганизующуюся сеть потребностей и возможностей (ПВ-сеть), в которой выстраивается динамический баланс интересов агентов по удовлетворению потребителей.

Для пояснения принципов такой самоорганизации и «динамичности» формирующегося баланса «устойчивых неравновесий» или «неустойчивых равновесий» по И. Пригожину [10] следует заметить следующее. Выбор пользователем любого документа должен увеличивать информационный рейтинг или импакт-фактор документа и позволять ему «заработать» определённые баллы на виртуальном рынке СУЗ, которые помогут этому документу в дальнейшем занимать более выгодное положение в результатах поиска.

Использование мультиагентных технологий при построении СУЗ позволяет каждому пользователю и объекту знаний поставить в соответствие интеллектуального агента, действующего в интересах своего реального «хозяина». Для выполнения поискового запроса агентом пользователя создаётся агент запроса, цель которого – найти все объекты, удовлетворяющие поисковому запросу, и вернуть в качестве результата наиболее подходящие  $N$  объектов. Агент запроса на основании анализа семантических дескрипторов объектов системы и поискового запроса находит наиболее релевантные объекты, из которых далее формируется очередь просмотра объектов СУЗ с учётом заданной стратегии поиска (рисунок 1).

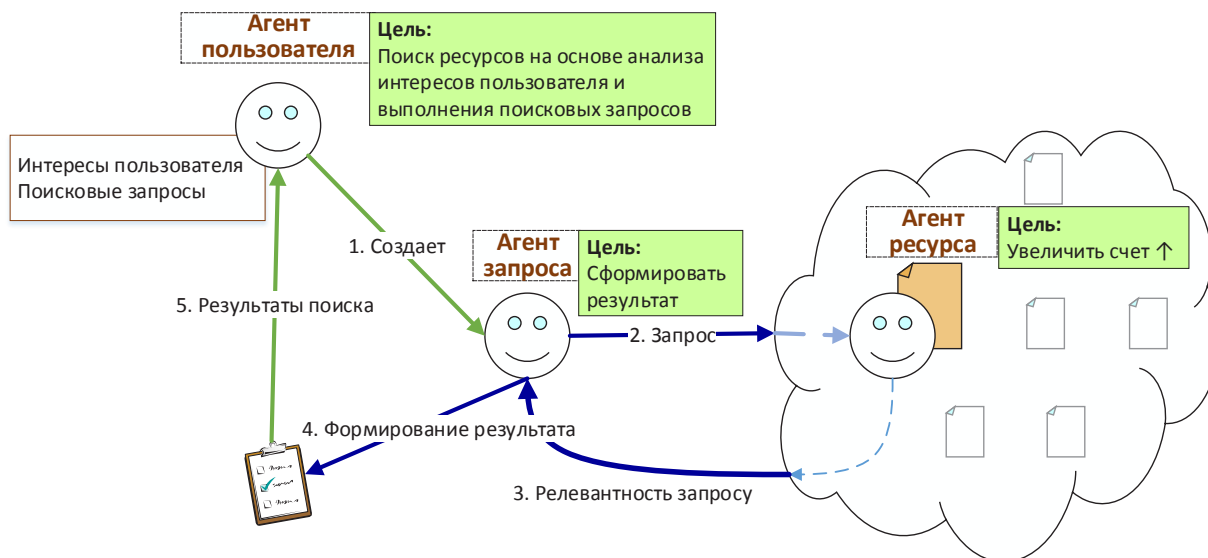


Рисунок 1 – Взаимодействие агентов в СУЗ

Далее агент запроса берёт из очереди первые  $N$  объектов и возвращает агенту пользователя. Пользователь, просматривая объекты, может оценить их с учётом полезности объекта и соответствия своим ожиданиям. Успешно принятые пользователем предложения набирают определённую виртуальную «валюту» (подобно «лайкам»), играющую роль «энергии», необходимой не только для формирования рейтингов, но и для установления связей, выработки решений о перепланировании своих позиций, выхода на новых пользователей и т.д. На основании оценки пользователя формируется рейтинг объектов, который в дальнейшем в зависимости от выбранной стратегии поиска может влиять на место объекта в очереди просмотра (рисунок 2).

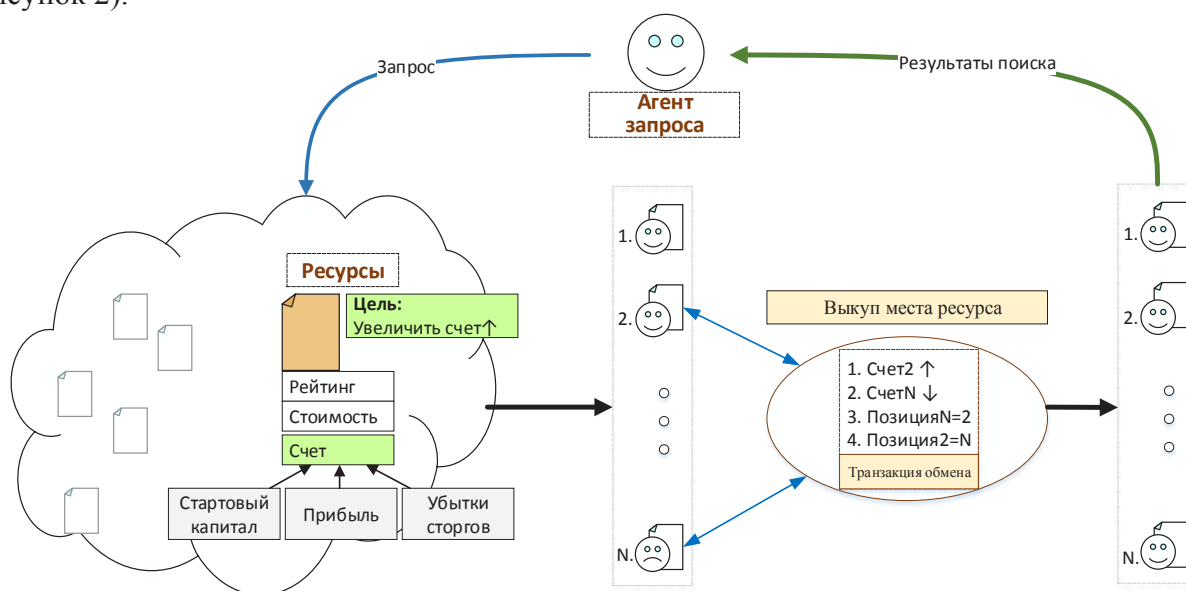


Рисунок 2 – Алгоритм формирования рейтинга ресурса

Целью агента является увеличение виртуального счёта, при этом рейтинг конвертируется в стоимость. После формирования очереди объектов на основе оценки релевантности поисковому запросу каждый агент пытается улучшить своё положение в очереди, чтобы в конечном итоге увеличить свой виртуальный счёт. Для этого агент одного объекта пытается выку-

пить место в очереди у агента другого объекта, имеющего более выгодную позицию в очереди. Чтобы выкупить место в очереди, агент использует виртуальную валюту на своем счёте. Если размер компенсации, которую агент готов предложить, удовлетворяет другого агента, имеющего более выгодную позицию, то выполняется транзакция обмена. Улучшив свою позицию, агент объекта повышает вероятность своего просмотра пользователем. Если объект просматривается, то увеличивается счёт агента объекта на сумму, равную его стоимости.

В результате, с приходом новых участников, размещением новых материалов (идей, публикаций, результатов работы и т.д.) и просмотром материалов будет непрерывно развиваться и перестраиваться самоорганизующаяся семантическая «нейронная сеть» знаний предприятий РКП, которая постоянно (24/7), адресно связывает идеи, людей, проекты и т.д.

Следует также подчеркнуть, что в самоорганизующихся системах каждый агент должен сам принимать решение и создавать новые или разрушать по согласованию старые, малоэффективные связи. При этом часть агентов может набирать очки и подниматься «вверх» в самоорганизующейся среде, участвуя во всё более сложных структурах связей и набирая «энергию» от их успешного применения пользователями, а часть просто «разоряется», скатывается вниз в рейтингах и постепенно перестает попадать в результаты поиска.

### 3 Пример использования предлагаемого подхода

Рассмотрим основные принципы использования предлагаемого подхода на примере. Для систематизации знаний ПрО выделим следующий состав онтологий.

- Космическая инфраструктура – содержит описание классов космических средств и наземной космической инфраструктуры (Космический аппарат, Транспортный пилотируемый корабль, Транспортный грузовой корабль, Средство выведения, Космический разгонный блок, Ракета-Носитель и т.д.).
- Структура предприятия – содержит классы для описания организационной структуры (Предприятие РКП, Головное, Филиал, Завод, Отдел, Конструкторское бюро и т.д.).
- Состав должностей и специализаций – содержит основной перечень используемых классов специальностей, должностей и компетенций сотрудников (Генеральный директор, Главный инженер, Директор опытного завода и т.д.).
- Специалисты – содержит классы специалистов (Инженер-технолог, Инженер по качеству, Токарь-карусельщик и т.д.).
- Типы документов – содержит основные классы документов (Нормативный документ, ГОСТ, Эскизный проект, Техническое задание, Акт и т.д.).
- IT-ландшафт – содержит объекты IT структуры, используемое программное обеспечение.
- Бизнес-процессы – содержит описание общих бизнес-процессов (например, описание типовых работ по разработке изделия).
- Типы контрактов – содержит описание основных типов контрактов (Контракт с твёрдой фиксированной ценой, Контракт «Время и материалы» и т.д.).
- Онтология патентов – содержит классы патентных документов (Описание изобретения к патенту, Описание полезной модели и т.д.).

Следует отметить, что понятия, объявленные в одной онтологии, могут ссылаться на понятия из другой. Разделение понятий по различным онтологиям весьма условное и используется для упрощения работы с большой ПрО. Так, например, расширение той или иной онтологии может быть разграничено между разными специалистами в зависимости от их специализации и экспертных знаний.

Для систематизации большого объёма имеющейся на предприятиях РКП документации предлагается её классифицировать по функционально-отраслевым признакам на основе ряда критериев и правил распределения документов. Однако, несмотря на наличие данного механизма, осуществить отбор актуальных данных из всего накопленного массива остаётся затруднительной задачей, поэтому для организации эффективной работы с документацией предлагается использовать СУЗ, способную предоставить данные по тематикам, удовлетворяющим интересам пользователей. Для этого необходимо создание семантического дескриптора документа, для построения которого используются понятия и отношения онтологий.

Семантические дескрипторы описывают смысловую часть документов и любых объектов СУЗ и могут быть сформированы на основе анализа аннотаций или рефератов документов. Эти дескрипторы используются при обработке семантических поисковых запросов от пользователей. Таким образом, чем точнее и детальнее сформирован семантический дескриптор, тем больше вероятность того, что он будет релевантен поисковому запросу.

Рассмотрим создание семантического дескриптора на примере конструкторской и эксплуатационной документации на изделие транспортный грузовой корабль «Прогресс» (ТГК «Прогресс»). Конструкторская и эксплуатационная документация, как правило, содержит описание физической структуры изделия, функциональных модулей, правил и особенностей эксплуатации, регламентов обслуживания и т.п. Поэтому для описания семантического дескриптора документа предлагается построить онтологию изделия и связать её понятия с данным документом. Пример фрагментов онтологий, описывающих физическую и функциональную структуру ТГК «Прогресс», представлены на рисунках 3 и 4.

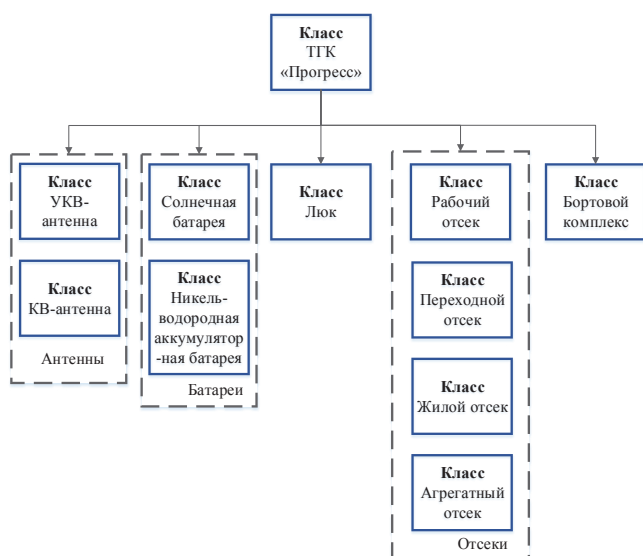


Рисунок 3 – Физическая структура ТГК «Прогресс»

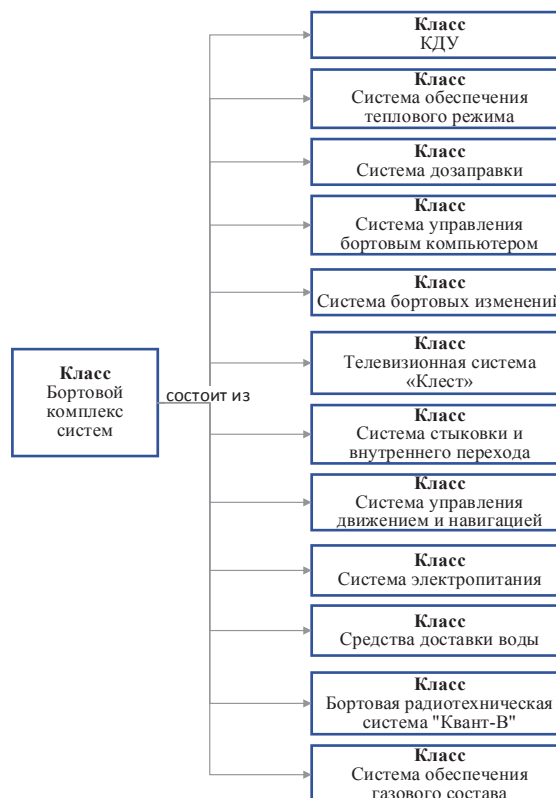


Рисунок 4 – Функциональная структура «ТГК «Прогресс»

В следующем примере рассмотрим описание объекта интеллектуальной собственности, патентного документа «Способ контроля герметичности отсека космического аппарата,

устройство для его осуществления и способ испытания устройства для осуществления контроля герметичности отсека космического аппарата» [11]. Для его описания могут использоваться как классы физических объектов, так и описание процессов, например, описание процессов функционирования или изготовления изделия.

Для описания смысловой части данного патентного документа в онтологии создаётся описание процесса (Рисунок 5). При этом описанный ранее класс изделия указывается как участник процесса. Таким образом, можно описывать различные технические изделия, используя отношения разного типа: функциональные, наследования, типа «часть-целое» и т.д.

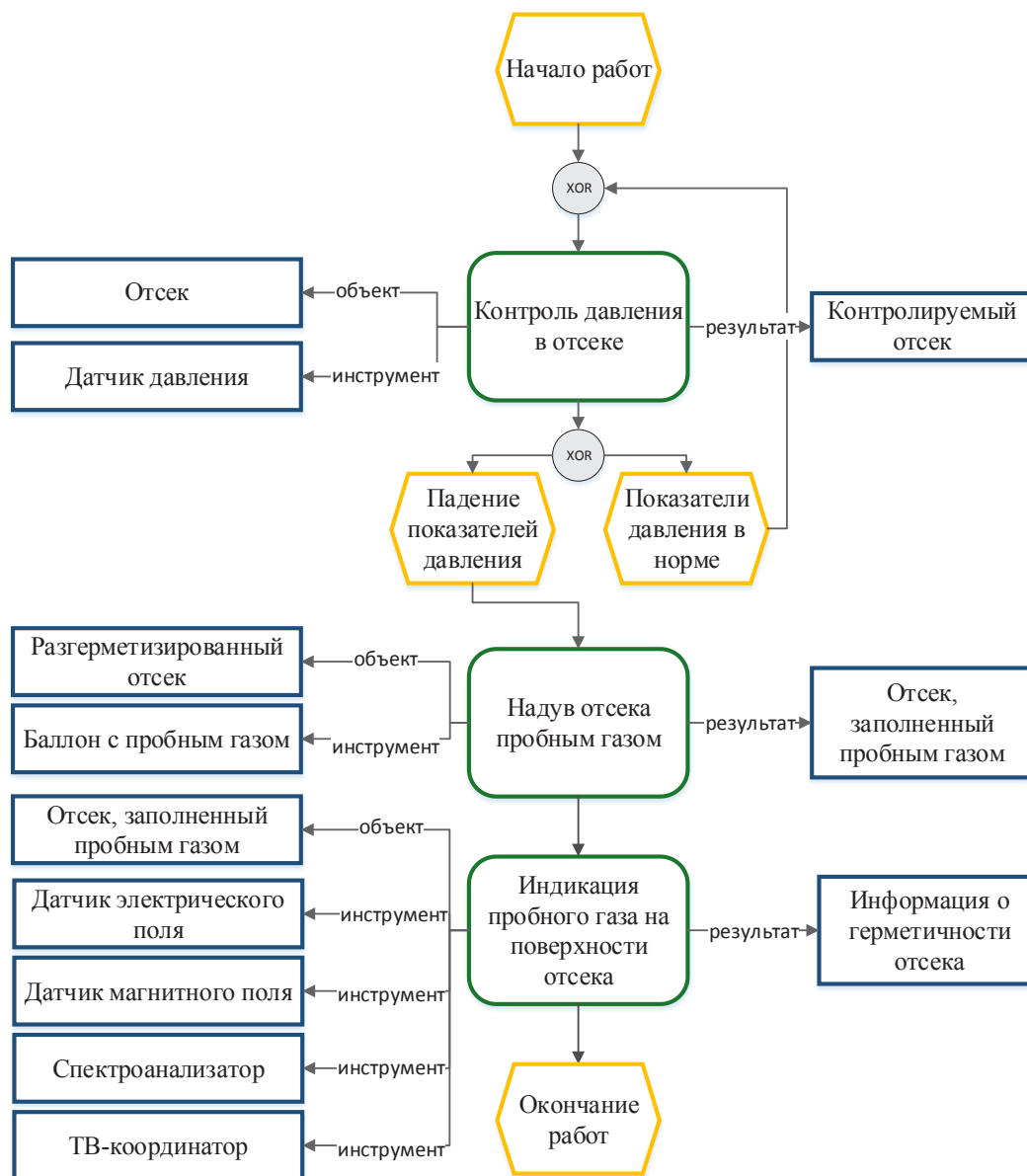


Рисунок 5 – Пример описания процесса

Если знания предприятий РКП будут формализованы и систематизированы с помощью СУЗ, то их ценность на порядок возрастёт, т.к. их можно будет неоднократно повторно использовать и расширять экспертами различных ПрО. На рисунке 6 изображён результат семантизации патентного документа.



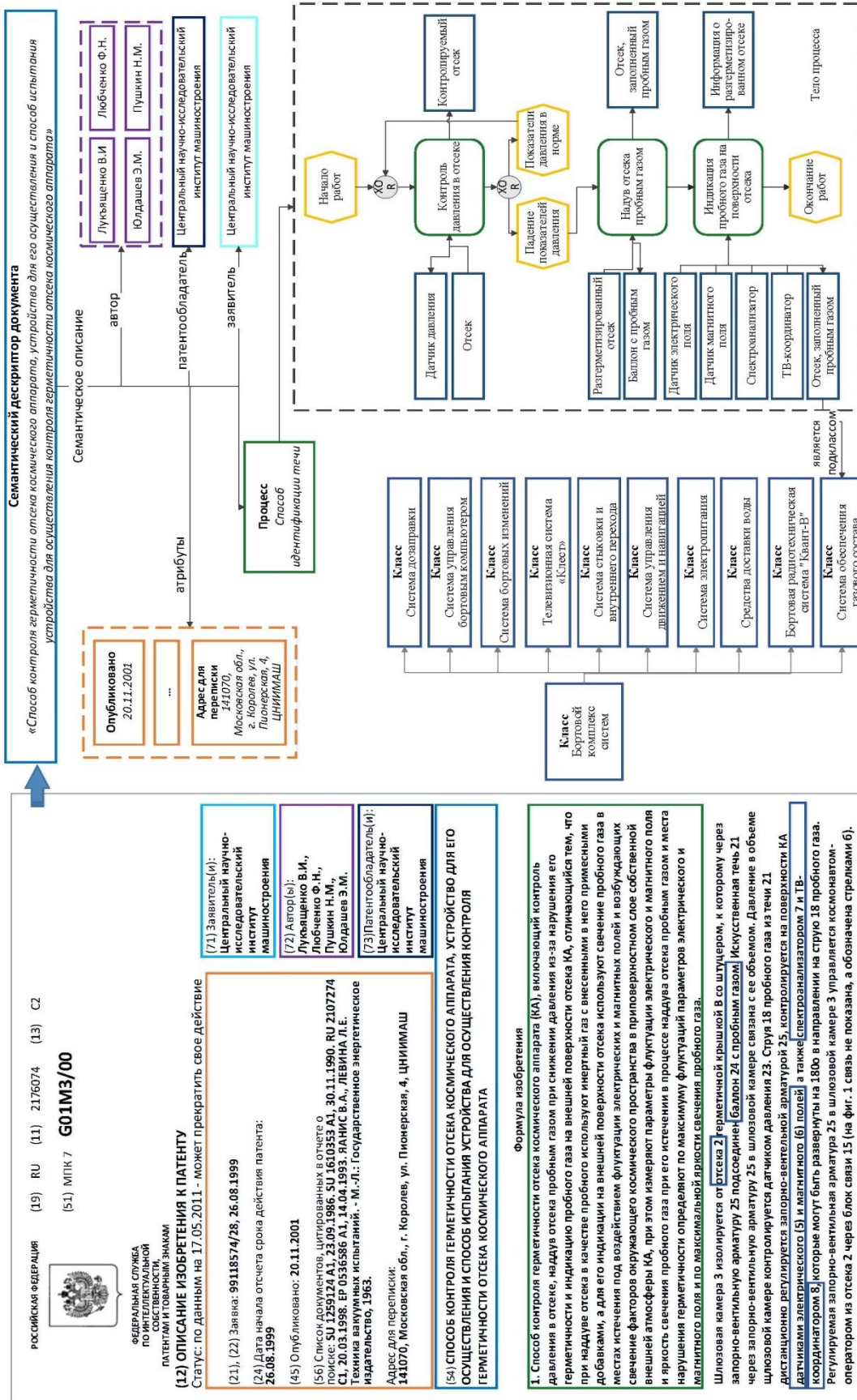


Рисунок 6 – Построение семантического дескриптора патентного документа

#### 4 Ожидаемые результаты

Ожидаемые результаты от использования СУЗ:

- формирование единой базы знаний предприятий РКП как основы СУЗ для накопления, формализации, систематизации и повторного использования знаний;
- создание основы для семантизации социальной сети предметных специалистов по разработке изделий РКП;
- повышение эффективности использования знаний;
- возврат инвестиций для предприятий от созданных научно-технических заделов;
- мониторинг и выявление наиболее востребованных знаний и проблемных областей (есть потребность – но нет знаний);
- стимулирование, мотивация и развитие молодых специалистов, а также поддержка трансфера знаний и технологий.

#### Заключение

Применение СУЗ для предприятий РКП создаст возможность систематизировать накопленные массивы материалов на предприятиях и повысить эффективность их повторного использования специалистами и экспертами, что позволит обеспечить дополнительное конкурентное преимущество как предприятиям РКП в целом, так и отдельным специалистам и экспертам. Получаемые результаты могут использоваться для оценки востребованности и эффективности знаний, генерируемых различными организациями и предприятиями РКП.

В дальнейшем предполагается автоматизация процессов построения семантических дескрипторов за счёт применения технологий понимания текстов и обработки больших данных для выявления кластеров новых тем, разработок, активных групп разработчиков и т.д.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-01-00759 «Теоретические основы создания эмерджентного интеллекта для решения сложных задач управления ресурсами».

#### Список источников

- [1] *Стратилатова, Н.Н.* Создание системы управления интеллектуальной собственностью на основе использования баз знаний (онтологий) и мультиагентных технологий / Н.Н. Стратилатова, В.К. Скимунт, А.С. Егоров, Ю.С. Юрыгина, А.С. Анисимов, О.И. Лахин, А.В. Чехов // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2016): Труды международной научно-технической конференции (26-28 апреля 2016 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2016. – С. 374-377.
- [2] *Rzevski, G.* Managing Complexity / G. Rzevski, P. Skobelev. – London: WITPress, 2014. – 198 p.
- [3] OWLGuide. – <https://www.w3.org/TR/owl-guide/>.
- [4] DOE. – <http://www.eurecom.fr/~troncy/DOE/>.
- [5] FluentEditor. – <http://www.cognitum.eu/semantics/FluentEditor/>.
- [6] Ontorion. – <http://www.business-semantic.ru/products/ontorion>.
- [7] Palantir. – <https://www.palantir.com/palantir-gotham/>.
- [8] Динамическая онтология. – <https://m.habrahabr.ru/company/edison/blog/281118/>.
- [9] *Скобелев, П.О.* Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2012. – №1(3). – С. 26-48.
- [10] *Пригожин, И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

- [11] Патент «Способ контроля герметичности отсека космического аппарата, устройство для его осуществления и способ испытания устройства для осуществления контроля герметичности отсека космического аппарата». – <http://bd.patent.su/2176000-2176999/pat/serv1/servletf891.html>.
- 

## PRINCIPLES OF BUILDING THE KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR ROCKET AND SPACE ENTERPRISES

O.I. Lakhin, Y.S. Yurygina, A.S. Anisimov

SEC «Smart Solutions» Ltd., Samara, Russia  
[info@smartsolutions-123.ru](mailto:info@smartsolutions-123.ru)

### Abstract

The paper presents an important problem of the rocket and space industry: increasing the efficiency of use of accumulated knowledge in the form of heterogeneous documents describing results of intellectual activity. To solve this problem, it is proposed to use the knowledge management system built on the basis of new technologies. Its novelty lies in the use of ontology of domains (Semantic Web) and "multi-agent Internet" as an intellectual base for knowledge management for rocket and space industry enterprises and the entire industry. The paper analyzes and compares available ontology editors and points out their advantages and disadvantages. The paper also gives an example of using the proposed approach for describing the ontology, and provides a mechanism for creating a semantic descriptor based on the design and operational documentation for a product. The results are presented in the form of the developed methods and tools for building knowledge management systems. Practical use of the knowledge management system can improve efficiency of reuse of results of intellectual activity, increase productivity of experts in the rocket and space industry through semantization of accumulated material, as well as improve semantic support of communication and interaction processes between industry employees and experts.

**Key words:** corporate knowledge, intellectual property, innovation, knowledge management, domain ontology, multi-agent technology.

**Citation:** Lakhin OI, Yurygina YS, Anisimov AS. Principles of Building the Knowledge Management System for Rocket and Space Enterprises. *Ontology of Designing*. 2017; 7(3): 270-283. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-270-283.

### References

- [1] *Stratilatova NN, Skirmunt VK, Egorov AS, Yurygina YS, Anisimov AS, Lakhin OI, Chehov AV*. Development of Intellectual Property Objects Handling System Based on Ontology and Multiagent Technology [In Russian]. Perspective Information Technologies (PIT-2016): Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (Samara, Russia, 2016, 26-28 April). – Samara: Samara Scientific Center of RAS; 2016: 374-377.
- [2] *Rzevski G., Skobelev P*. Managing Complexity. – London: WITPress; 2014.
- [3] OWLGuide. Source: <https://www.w3.org/TR/owl-guide>.
- [4] DOE. Source: <http://www.eurecom.fr/~troncy/DOE>.
- [5] Fluent Editor. Source: <http://www.cognitum.eu/semantics/FluentEditor>.
- [6] Ontorion. Source: <http://www.business-semantic.ru/products/ontorion>.
- [7] Palantir. Source: <https://www.palantir.com/palantir-gotham>.
- [8] Dynamic ontology. Source: <https://m.habrahabr.ru/company/edison/blog/281118>.
- [9] *Skobelev PO*. Ontologies Activities for Situational Management of Enterprise Real-time [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2012; 1(3): 26–48.
- [10] *Prigogine I, Stengers I*. Order out of chaos: Man's new dialogue with nature [In Russian]. – Moscow: Progress; 1986.
- [11] Патент «Procedure to Test Tightness of Spacecraft Compartment, Gear for its Implementation and Process Testing Gear for Implementation of Procedure to Test Tightness of Spacecraft Compartment» [In Russian]. Source: <http://bd.patent.su/2176000-2176999/pat/serv1/servletf891.html>.

## Сведения об авторах



**Лахин Олег Иванович**, 1976 г. рождения. Окончил Поволжский институт информатики, радиотехники и связи в 1998 г., к.т.н. (2017). Генеральный директор ООО «НПК «Разумные решения». В списке научных трудов более 60 работ в области мультиагентных систем для управления ресурсами, создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений аэрокосмических предприятий, онтологического моделирования.

**Oleg Ivanovich Lakhin** (b. 1976) graduated from the Povolzhskiy Institute of Informatics, Radiotechnics and Telecommunications in 1998, PhD (2017). He is CEO at SEC «Smart Solutions» Ltd. He is co-author of more than 60 publications in the field of multi-agent systems for resource management, development knowledge based decision support systems for aerospace enterprises, ontology modeling of the domain.



**Юрыгина Юлия Сергеевна**, 1987 г. рождения. Окончила Ульяновский государственный технический университет в 2009 г. Руководитель департамента управления проектами ООО «НПК «Разумные решения». В списке научных трудов около 20 работ в области создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений, онтологий, мультиагентных технологий.

**Yuliya Sergeevna Yurygina** (b. 1987) graduated from the State Technical University (Ulyanovsk-city) in 2009. She is Project manager at SEC «Smart Solutions» Ltd. She is co-author of about 20 publications in the field of development intelligent decision support system, ontology, multi-agent technology.



**Анисимов Александр Сергеевич**, 1993 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королёва в 2015 г. Бизнес-аналитик ООО "НПК "Разумные решения". В списке научных трудов около 10 работ в области разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений, онтологического моделирования предметных областей, мультиагентных технологий.

**Alexander Sergeevich Anisimov** (b. 1993) graduated from Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (SSAU) in 2015. He is Business Analyst at SEC «Smart Solutions» Ltd. He is co-author of about 10 publications in the field of development of intelligent decision-making systems, ontological modeling of the subject area, multi-agent technologies.

УДК 519.5

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАЖНОСТИ КРИТЕРИЕВ**

**С.А. Пиявский**

*Самарский государственный технический университет, Самара, Россия  
spiyav@mail.ru*

### **Аннотация**

Автором ранее был предложен подход, позволяющий повысить обоснованность и снизить трудоёмкость принятия решений в условиях многокритериального сравнения альтернатив. Метод основан на использовании заранее рассчитанных универсальных таблиц весовых коэффициентов линейной свёртки критериев. Универсальная таблица содержит  $2^{n-1}$  строк, где  $n$  - число критериев. Каждая строка таблицы отвечает уникальному возможному распределению критериев между группами важности. При большом числе критериев вычислительная сложность такого подхода настолько велика, что требуется значительное время для получения результата. В настоящей статье предложены способы, позволяющие уменьшить трудоёмкость расчёта одной таблицы в  $2^{n-1}$  раз. Это достигается использованием обнаруженного «краевого эффекта», который проявляется в повторяемости ряда коэффициентов в различных строках таблицы. Благодаря этому может быть сформирована система линейных алгебраических уравнений, переменными которой являются искомые значения коэффициентов. Система легко решается численными методами. Предложенный подход существенно облегчает построение универсальных таблиц для достаточно большого (несколько десятков) числа критериев и уменьшает потребный объём памяти систем поддержки принятия решений. Он также позволяет глубже осмыслить рациональную основу понятия «важнее», используемого во всех областях человеческой деятельности.

*Ключевые слова: принятие решений, многокритериальный выбор, универсальные коэффициенты важности, краевой эффект.*

*Цитирование: Пиявский, С.А. Вычислительные аспекты формирования универсальных таблиц коэффициентов важности критериев / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). - С. 284-295. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-284-295.*

### **Введение**

Ключевым элементом принятия решений на рациональной основе является многокритериальное сравнение альтернатив, для которого предложены многообразные методы (например, [1-10]). При этом чаще всего, ввиду простоты её понимания лицом, принимающим решение (ЛПР), чаще всего используется линейная свёртка нормированных значений частных критериев. Она позволяет использовать при сравнении альтернатив вместо вектора  $m$  частных критериев  $f=(f^1, f^2, \dots, f^m)$  скалярный комплексный критерий

$$(1) \quad F(f) = \sum_{j=1}^m x^j f^j, \quad j = 1, \dots, m, \quad x^j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^m x^j = 1.$$

В (1)  $x^1, x^2, \dots, x^m$  - вектор количественных весовых коэффициентов, отражающих сравнительную важность для ЛПР различных аспектов сравнения альтернатив. При этом открытым остаётся вопрос – как оценить эту важность количественно? Мы полагаем, что ни ЛПР, ни привлекаемые эксперты не в состоянии это сделать напрямую, потому что «..женях не в состоянии достаточно уверенно определить, что красота невесты в 2,354 раза важнее для

него, чем её ум» [1]. Он может достаточно уверенно решить про себя, что красота «важнее» или «намного важнее», но не более того, то есть отнести различные частные критерии к соответствующим группам важности.

В [1] предложен подход, позволяющий создать достаточно понятную универсальную шкалу, которая определяет численные значения весовых коэффициентов, отвечающие различным степеням понятия «важнее». Эта шкала зависит не от конкретной задачи, в которой используется, а лишь от количества частных критериев и того, как они распределены по различным группам важности. Для построения таблиц таких универсальных коэффициентов важности необходимо для конкретного количества критериев перечислить все уникальные варианты их распределения по возможным группам важности и для каждого варианта рассчитать значения коэффициентов. Для примера в таблице 1 показана универсальная таблица, рассчитанная в [1, фрагмент таблицы 8] для числа частных критериев, равного пяти.

Таблица 1 – Универсальные коэффициенты важности критериев для задач принятия решений с пятью критериями (рассчитаны приближенно)

Номер цепочки	Цепочка (количество критериев в каждой группе важности)					Универсальные значения коэффициентов важности критериев				
	Группа важности критериев					Группа важности критериев				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
1.	1	1	1	1	1	0,038	0,087	0,154	0,256	0,464
2.	1	1	1	2		0,038	0,087	0,153	0,361	
3.	1	1	2	1		0,038	0,087	0,205	0,464	
4.	1	1	3			0,038	0,085	0,292		
5.	1	2	1	1		0,038	0,121	0,255	0,466	
6.	1	2	2			0,038	0,121	0,361		
7.	1	3	1			0,038	0,165	0,466		
8.	1	4				0,037	0,238			
9.	2	1	1	1		0,064	0,155	0,254	0,464	
10.	2	1	2			0,063	0,153	0,361		
11.	2	2	1			0,063	0,204	0,467		
12.	2	3				0,062	0,292			
13.	3	1	1			0,093	0,254	0,465		
14.	3	2				0,094	0,359			
15.	4	1				0,135	0,46			
16.	5					0,2				

Для каждой строки таблицы 1 назовём цепочкой количество критериев, приходящихся в данной строке на каждую группу важности. Взгляд на таблицу 1 позволяет заметить её интересную особенность: в разных цепочках одинаковым крайним (в начале и конце) фрагментам цепочки отвечают одинаковые значения универсальных коэффициентов важности. Так, при фрагменте «1,2», расположенном в начале цепочек 5 и 6, отвечающие ему коэффициенты важности всегда равны 0,038 и 0,121, а при расположении этого фрагмента в конце цепочек 2 и 10 отвечающие ему коэффициенты важности всегда равны 0,153 и 0,361. Заметим, что, как показано в [1], в то же время отвечающие такому же фрагменту коэффициенты важности при другом общем числе критериев, конечно, иные: так, при шести критериях они в начале соответствующих цепочек равны 0,026 и 0,079 а в конце цепочек - 0,155 и 0,330. Назовём эту особенность краевым эффектом цепочек и используем её для вычисления таблицы универсальных коэффициентов важности критериев.

## 1 Маска универсальной таблицы

Для наглядности будем вести дальнейшие рассмотрения на примере универсальной таблицы для пяти критериев, показанной в таблице 1.

Введём понятие маски универсальной таблицы. Каждому количеству частных критериев отвечает своя универсальная таблица и соответственно своя маска. Она строится по формату таблицы 1 на основе перечня уникальных цепочек критериев, где вместо подлежащего расчёту значения коэффициента важности проставлено наименование соответствующей переменной. При этом с учётом краевого эффекта цепочек, одинаковым или близким значениям коэффициентов важности отвечает одна и та же переменная. Маска для пяти критериев показана в таблице 2. В ней не повторяются только четыре переменные, выделенные фоном. Этот факт является, по-видимому, закономерным при любом числе критериев большем двух, о чём свидетельствуют маски для других чисел критериев, приведённые в таблицах 3–6.

Таблица 2 – Маска универсальной таблицы для пяти критериев

Номер цепочки	Цепочка					Наименования переменных				
	Группа важности критериев					Группа важности критериев				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
1.	1	1	1	1	1	x1	x4	x7	x9	x8
2.	1	1	1	2		x1	x4	x7	x11	
3.	1	1	2	1		x1	x4	x10	x8	
4.	1	1	3			x1	x4	x12		
5.	1	2	1	1		x1	x5	x9	x8	
6.	1	2	2			x1	x5	x11		
7.	1	3	1			x1	x15	x8		
8.	1	4				x1	x16			
9.	2	1	1	1		x2	x6	x9	x8	
10.	2	1	2			x2	x6	x11		
11.	2	2	1			x2	x10	x8		
12.	2	3				x2	x12			
13.	3	1	1			x3	x9	x8		
14.	3	2				x3	x11			
15.	4	1				x13	x8			
16.	5					x14				

Таблица 3 – Маска универсальной таблицы для двух критериев

Номер цепочки	Цепочка		Наименования переменных	
	Группа важности критериев		Группа важности критериев	
	B1	B2	B1	B2
1.	1	1	x1	x2
2.	2		x3	

Таблица 4 – Маска универсальной таблицы для трех критериев

Номер цепочки	Цепочка			Наименования переменных		
	Группа важности критериев			Группа важности критериев		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
1.	1	1	1	x1	x3	x2
2.	1	2		x1	x4	
3.	2	1		x5	x2	
4.	3			x6		

Таблица 5 – Маска универсальной таблицы для четырех критериев

Номер цепочки	Цепочка				Наименования переменных			
	Группа важности критериев				Группа важности критериев			
	B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
1.	1	1	1	1	x1	x3	x6	x4
2.	1	1	2		x1	x3	x5	
3.	1	2	1		x1	x9	x4	
4.	1	3			x1	x10		
5.	2	1	1		x2	x6	x4	
6.	2	2			x2	x5		
7.	3	1			x7	x4		
8.	4				x8			

Таблица 6 – Маска универсальной таблицы для шести критериев

Номер цепочки	Цепочка						Наименования переменных					
	Группа важности критериев						Группа важности критериев					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	1	1	1	1	1	1	x1	x5	x11	x15	x18	x16
2	1	1	1	1	2		x1	x5	x11	x15	x17	
3	1	1	1	2	1		x1	x5	x11	x19	x16	
4	1	1	1	3			x1	x5	x11	x20		
5	1	1	2	1	1		x1	x5	x12	x18	x16	
6	1	1	2	2			x1	x5	x12	x17		
7	1	1	3	1			x1	x5	x22	x16		
8	1	1	4				x1	x5	x21			
9	1	2	1	1	1		x1	x6	x13	x18	x16	
10	1	2	1	2			x1	x6	x13	x17		
11	1	2	2	1			x1	x6	x19	x16		
12	1	2	3				x1	x6	x20			
13	1	3	1	1			x1	x7	x18	x16		
14	1	3	2				x1	x7	x17			
15	1	4	1				x1	x25	x16			
16	1	5					x1	x26				
17	2	1	1	1	1		x2	x8	x14	x18	x16	
18	2	1	1	2			x2	x8	x14	x17		
19	2	1	2	1			x2	x8	x19	x16		
20	2	1	3				x2	x8	x20			
21	2	2	1	1			x2	x9	x18	x16		
22	2	2	2				x2	x9	x17			
23	2	3	1				x2	x22	x16			
24	2	4					x2	x21				
25	3	1	1	1			x3	x10	x18	x16		
26	3	1	2				x3	x10	x17			
27	3	2	1				x3	x19	x16			
28	3	3					x3	x20				
29	4	1	1				x4	x18	x16			
30	4	2					x4	x17				
31	5	1					x23	x16				
32	6						x24					



## 2 Система линейных уравнений для построения универсальной таблицы

Маска определяет систему линейных уравнений, которой должны удовлетворять универсальные коэффициенты важности критериев. Каждой цепочке отвечает своё уравнение. Его левая часть формируется путём умножения элементов цепочки на соответствующие им переменные из правой части таблицы. Правая часть каждого уравнения равна единице. Так, уравнение, отвечающее цепочке с номером 5, имеет вид

$$(2) \quad x_1 + 2x_5 + x_9 + x_8 = 1.$$

Система уравнений позволяет определить коэффициенты важности универсальной таблицы в несколько шагов.

*Шаг 1.* Любым численным методом, предложенным в [1], определяются коэффициенты важности критериев для одной единственной цепочки с номером 1. Выбор именно этой цепочки обусловлен тем, что она содержит наибольшее число переменных. Назовём их задающими коэффициентами.

*Шаг 2.* Отвечающие задающим коэффициентам значения переменных подставляются в остальные уравнения.

*Шаг 3.* Из уравнений, в которые после предыдущего шага входит только по одной переменной, определяются их значения. Если ещё не все переменные вычислены, повторяется шаг 2.

Структура системы уравнений такова, что этот простой алгоритм, по-видимому, позволяет полностью решить задачу. Строгое обоснование его достаточности нет смысла искать: если в каком-либо случае он не сработает, просто придётся задуматься о другом алгоритме.

Приведём результаты его использования при расчёте универсальных таблиц для пяти и шести критериев. Их приближено рассчитанные варианты приведены в [1], поэтому появится возможность оценить величину допущенной там погрешности.

Для пяти критериев на первом шаге методом полного перебора (9479319 итераций) были рассчитаны значения первых пяти переменных, приведённые в таблице 7. На втором шаге к ним добавились значения ещё девяти переменных, затем ещё одной и ещё одной, после чего таблица оказалась полностью сформированной (таблица 8).

Для шести критериев на первом шаге методом полного перебора (1229120 итераций) были рассчитаны значения шести переменных, приведённые в таблице 9, затем по шагам последовательно ещё двенадцати затем трёх, затем четырёх и затем ещё одной, после чего таблица оказалась сформированной полностью (таблица 10).

Таблица 7 - Результаты первого шага алгоритма (задающие коэффициенты) при расчёте универсальной таблицы для пяти критериев

Переменные	Коэффициенты
X1	0,039406
X4	0,088971
X7	0,155469
X9	0,255837
X8	0,460317

Таблица 8 – Универсальная таблица для пяти критериев (уточнённый вариант)

Номер цепочки	Цепочка					Универсальные значения коэффициентов важности критериев				
	Группа важности критериев					Группа важности критериев				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
1.	1	1	1	1	1	0,039	0,089	0,155	0,256	0,460
2.	1	1	1	2		0,039	0,089	0,155	0,358	
3.	1	1	2	1		0,039	0,089	0,206	0,460	
4.	1	1	3			0,039	0,089	0,291		
5.	1	2	1	1		0,039	0,122	0,256	0,460	
6.	1	2	2			0,039	0,122	0,358		
7.	1	3	1			0,039	0,167	0,460		
8.	1	4				0,039	0,240			
9.	2	1	1	1		0,064	0,155	0,256	0,460	
10.	2	1	2			0,064	0,155	0,358		
11.	2	2	1			0,064	0,206	0,460		
12.	2	3				0,064	0,291			
13.	3	1	1			0,095	0,256	0,460		
14.	3	2				0,095	0,358			
15.	4	1				0,135	0,460			
16.	5					0,200				

Таблица 9 - Результаты первого шага алгоритма (задающие коэффициенты) при расчёте универсальной таблицы для шести критериев

Переменные	Коэффициенты
X1	0,026450
X5	0,058816
X11	0,100071
X15	0,156145
X18	0,241884
X16	0,416633

Таблица 10 – Универсальная таблица для шести критериев (уточнённый вариант)

Номер цепочки	Цепочка						Универсальные значения коэффициентов важности критериев					
	Группа важности критериев						Группа важности критериев					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	1	1	1	1	1	1	0,026	0,059	0,100	0,156	0,242	0,417
2	1	1	1	1	2		0,026	0,059	0,100	0,156	0,329	
3	1	1	1	2	1		0,026	0,059	0,100	0,199	0,417	
4	1	1	1	3			0,026	0,059	0,100	0,272		
5	1	1	2	1	1		0,026	0,059	0,128	0,242	0,417	
6	1	1	2	2			0,026	0,059	0,128	0,329		
7	1	1	3	1			0,026	0,059	0,166	0,417		
8	1	1	4				0,026	0,059	0,229			
9	1	2	1	1	1		0,026	0,079	0,156	0,242	0,417	
10	1	2	1	2			0,026	0,079	0,156	0,329		
11	1	2	2	1			0,026	0,079	0,199	0,417		
12	1	2	3				0,026	0,079	0,272			
13	1	3	1	1			0,026	0,105	0,242	0,417		
14	1	3	2				0,026	0,105	0,329			
15	1	4	1				0,026	0,139	0,417			
16	1	5					0,026	0,195				
17	2	1	1	1	1		0,043	0,100	0,156	0,242	0,417	
18	2	1	1	2			0,043	0,100	0,156	0,329		

Продолжение таблицы 10

Номер цепочки	Цепочка						Универсальные значения коэффициентов важности критериев					
	Группа важности критериев						Группа важности критериев					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
19	2	1	2	1			0,043	0,100	0,199	0,417		
20	2	1	3				0,043	0,100	0,272			
21	2	2	1	1			0,043	0,128	0,242	0,417		
22	2	2	2				0,043	0,128	0,329			
23	2	3	1				0,043	0,166	0,417			
24	2	4					0,043	0,229				
25	3	1	1	1			0,062	0,156	0,242	0,417		
26	3	1	2				0,062	0,156	0,329			
27	3	2	1				0,062	0,199	0,417			
28	3	3					0,062	0,272				
29	4	1	1				0,085	0,242	0,417			
30	4	2					0,085	0,329				
31	5	1					0,117	0,417				
32	6						0,167					

### 3 «Нумерологический» подход

Таким образом, для построения универсальной таблицы алгоритмическим путём необходимо знать значения задающих коэффициентов для первой строки этой таблицы. Предложим подход, который мы назвали «нумерологическим», позволяющий и для этой строки предложить теоретически вычисляемые значения задающих коэффициентов. Рассмотрим таблицу 11 значений этих коэффициентов, составленную из соответствующих строк таблицы 6 из [1], содержащей их строго математически обоснованные точные значения для двух, трёх и четырёх критериев. В таблице 11 значения коэффициентов важности в каждой строке приведены к общему знаменателю. Представим их как простейшие формулы для вычисления значений задающих коэффициентов, состоящие из числителя и знаменателя.

Таблица 11 – Точные формулы для расчёта универсальных коэффициентов важности последовательно возрастающих по важности критериев

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

Можно заметить, что в таблице 11 значения коэффициентов важности критериев подчиняются определённой закономерности. Обобщим её следующим образом (т.н. нумерологическая гипотеза). Для строки, отвечающей количеству критериев  $n$ :

- общий знаменатель вычисляется по формуле  $n^2(n - 1)$ ;
- числитель в первом столбце равен  $(n - 1)$ ;
- числители остальных чисел в строке, кроме последнего ненулевого числа, равны числителям чисел, стоящих в таблице 11 непосредственно над ними, к которым добавлено число 2;

- числитель последнего ненулевого числа в строке равен разности  $n^2(n - 1)$  и суммы числителей всех остальных чисел в строке.

Используя нумерологическую гипотезу, можно последовательно строить любое количество универсальных таблиц. Эта гипотеза превратилась бы в теорему, если бы удалось теоретически вывести её соотношения из геометрических построений в  $n$ -мерном пространстве критериев, как это показано для двух, трёх и четырёх критериев в [1]. Пока же можно проверить допустимость гипотезы, сравнивая универсальные таблицы, построенные на её основе, с таблицами, для которых задающие коэффициенты вычислены статистическим путём.

В таблице 12 показаны значения числителя и знаменателя простейших формул для вычисления задающих коэффициентов, рассчитанные с помощью нумерологического подхода для числа критериев от двух до десяти. Вычисленные значения самих задающих коэффициентов приведены в таблице 13.

Таблица 12 – Значения числителя и знаменателя задающих коэффициентов

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

Таблица 13 – Значения задающих коэффициентов

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

В таблицах 14, 15 приведены соответствующие результаты. Относительное отклонение значений не превышает нескольких процентов и, по нашему мнению, связано с ограниченным числом испытаний и несовершенством датчика случайных чисел. В дальнейшем мы намерены уменьшать влияние этих факторов с тем, чтобы повысить уверенность в приемлемости нумерологической гипотезы. Однако, в таких «расплывчатых» задачах как многокритериальное сравнение альтернатив, отклонение в значениях коэффициентов важности критериев в несколько процентов не является значимым.

Таблица 14 – Точная универсальная таблица для пяти критериев (рассчитана по нумерологической гипотезе)

Номер цепочки	Цепочка (количество критериев в каждой группе важности)					Универсальные значения коэффициентов важности критериев				
	Группа важности критериев					Группа важности критериев				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
1.	1	1	1	1	1	0,040	0,090	0,150	0,270	0,450
2.	1	1	1	2		0,040	0,090	0,150	0,360	
3.	1	1	2	1		0,040	0,090	0,210	0,450	
4.	1	1	3			0,040	0,090	0,290		
5.	1	2	1	1		0,040	0,120	0,270	0,450	
6.	1	2	2			0,040	0,120	0,360		
7.	1	3	1			0,040	0,170	0,450		
8.	1	4				0,040	0,240			
9.	2	1	1	1		0,065	0,150	0,270	0,450	
10.	2	1	2			0,065	0,150	0,360		
11.	2	2	1			0,065	0,210	0,450		
12.	2	3				0,065	0,290			
13.	3	1	1			0,093	0,270	0,450		
14.	3	2				0,093	0,360			
15.	4	1				0,138	0,450			
16.	5					0,200				

Таблица 15 – Точная универсальная таблица для шести критериев (рассчитана по нумерологической гипотезе)

Номер цепочки	Цепочка						Универсальные значения коэффициентов важности критериев					
	Группа важности критериев						Группа важности критериев					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	1	1	1	1	1	1	0,028	0,061	0,094	0,161	0,261	0,394
2	1	1	1	1	2		0,028	0,061	0,094	0,161	0,328	
3	1	1	1	2	1		0,028	0,061	0,094	0,211	0,394	
4	1	1	1	3			0,028	0,061	0,094	0,272		
5	1	1	2	1	1		0,028	0,061	0,128	0,261	0,394	
6	1	1	2	2			0,028	0,061	0,128	0,328		
7	1	1	3	1			0,028	0,061	0,172	0,394		
8	1	1	4				0,028	0,061	0,228			
9	1	2	1	1	1		0,028	0,078	0,161	0,261	0,394	
10	1	2	1	2			0,028	0,078	0,161	0,328		
11	1	2	2	1			0,028	0,078	0,211	0,394		
12	1	2	3				0,028	0,078	0,272			
13	1	3	1	1			0,028	0,106	0,261	0,394		
14	1	3	2				0,028	0,106	0,328			
15	1	4	1				0,028	0,144	0,394			
16	1	5					0,028	0,194				
17	2	1	1	1	1		0,044	0,094	0,161	0,261	0,394	
18	2	1	1	2			0,044	0,094	0,161	0,328		
19	2	1	2	1			0,044	0,094	0,211	0,394		
20	2	1	3				0,044	0,094	0,272			
21	2	2	1	1			0,044	0,128	0,261	0,394		
22	2	2	2				0,044	0,128	0,328			
23	2	3	1				0,044	0,172	0,394			
24	2	4					0,044	0,228				
25	3	1	1	1			0,061	0,161	0,261	0,394		
26	3	1	2				0,061	0,161	0,328			
27	3	2	1				0,061	0,211	0,394			
28	3	3					0,061	0,272				
29	4	1	1				0,086	0,261	0,394			
30	4	2					0,086	0,328				
31	5	1					0,121	0,394				
32	6						0,167					

#### 4 Нумерологический подход и метод анализа иерархий Т.Саати

Интересно попытаться применить для определения задающих коэффициентов метод анализа иерархий Т.Саати [11-13]. Построенная в соответствии с ним расчётная схема для пяти критериев (для большего их количества недостаточно коэффициентов сравнительной важности, предложенных в методе анализа иерархий) приведена в таблице 16. При сравнении двух последних столбцов видно, что ввиду значительного различия в результатах метод анализа иерархий не может заменить нумерологический подход даже при небольшом числе критериев.

Таблица 16 – Сравнение задающих коэффициентов, рассчитанных методом анализа иерархий и на основе нумерологического подхода

Критерии	Критерии					Коэф. по Саати	Коэф. по номер. гипотезе
	B1	B2	B3	B4	B5		
B1	1	0,333	0,200	0,143	0,111	0,03292	0,039406
B2	3	1	0,333	0,200	0,143	0,06364	0,088971
B3	5	3	1	0,333	0,200	0,12957	0,155469
B4	7	5	3	1	0,333	0,26383	0,255837
B5	9	7	5	3	1	0,51004	0,460317
						1	1

#### Заключение

Результаты, приведённые в настоящей статье, в определённом смысле исчерпывают задачу формирования универсальных таблиц. Показано, что для их построения нет необходимости прибегать к статистическому моделированию или геометрическим построениям в многомерном пространстве. Предложен точный и несложный алгоритм их последовательного формирования. Представляется несложным вывести и рекуррентные аналитические выражения для коэффициентов универсальных таблиц. Реализация программной системы поддержки принятия многокритериальных решений, использующей универсальные таблицы, также не вызывает затруднений.

При решении практических задач ЛПР редко использует более трёх-четырёх групп важности критериев (при этом число самих критериев может быть достаточно большим). Поэтому универсальная таблица для любого числа критериев будет содержать не более четырёх столбцов числовых коэффициентов с тремя-четырьмя знаками после запятой. Количество строк в таблице для  $n$  критериев также будет равно не  $2^{n-1}$ , а значительно меньше, поскольку в таблицу войдут лишь цепочки, содержащие не более трёх-четырёх чисел. Такой компактный «справочник» может способствовать повышению культуры использования объективных методов обоснования многокритериальных решений в повседневной практике.

#### Список источников

- [1] Пиявский, С.А. Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №4(22). – С. 414-435. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [2] Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ. под ред. И.Ф. Шахнова / Р.Л. Кини, Х. Райфа. - М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
- [3] Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. - М.: Логос, 2000. – 295 с.
- [4] Ларичев, О.И. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 2006. – 181 с.

- [5] **Johannes J.** Vector Optimization: Theory, Applications, and Extensions. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2010. – 460 p.
  - [6] **Ansari H.Q., Jen-Chih Yao.** Recent Developments in Vector Optimization. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag, 2010. – 550 p.
  - [7] **Hirota N., Yeboon Y., Min Y.** Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 197 p.
  - [8] **Malyshev V.V., Piyavsky B.S., Piyavsky S.A.** A Decision Making Method Under Conditions Of Diversity Of Means Of Reducing Uncertainty, Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010. V.49. N1. – p.44-58.
  - [9] **Malyshev V.V., Piyavsky S.A.** The Confident Judgment Method In The Selection Of Multiple Criteria Solutions, Journal of Computer and Systems Sciences International. 2015. V.54. N5. – p.754-764.
  - [10] **Брусов, В.С.** Многокритериальный анализ концепций высотных беспилотных летательных аппаратов / В.С. Брусов, С.А. Пиявский // Известия вузов «Авиационная техника», №4, 2016. – с.9-16.
  - [11] **Saaty T.L.** The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill. 1980. [Reprinted by RWS Publications, available electronically free, 2000].
  - [12] **Саату, Т.** Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
  - [13] **Саату, Т.** Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Пер. с англ. О. Н. Андрейчиковой // Электронный журнал Cloud of Science. 2015. Т.2. № 1, - с. 5-39. - [https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS\\_2\\_5.pdf](https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_5.pdf).
- 

## COMPUTATIONAL ASPECTS OF ESTABLISHING UNIVERSAL TABLES OF CRITERION'S IMPORTANCE

**S.A. Piyavsky**

*Samara State Technical University, Samara, Russia  
spiyav@mail.ru*

### Abstract

In work “How do we digitize the concept of «more important»” the author had proposed an approach towards decision-making in multi-criterial comparison of alternatives that would allow to increase the validity and decrease laboriousness of the process. The method is based on preemptive calculation of universal tables of weight coefficients for linear convolution of criterions. This deems unnecessary calculation of those weights every time a decision is made within the considered system. For every set of criterions, a separate table is made. It contains  $2^{n-1}$  rows, where  $n$  is the number of criterions. Every row corresponds to a unique possible criterions distribution amongst the importance groups. With more criteria, the computational complexity is so great that the computer's power is not enough to get the result in an acceptable time. This paper presents an approach that makes it possible to decrease the calculation complexity of a single table by  $2^{n-1}$  times. It is made possible due to the observation of so-called “boundary effect”. It shows as repetition of coefficients in different rows of the table. Due to this, a system of linear algebraic equations can be formed, the variables of which are the sought values of the coefficients. The system is easily solved by numerical methods if the coefficients corresponding to one of the rows of the table become known. The proposed approach greatly facilitates the construction of universal tables for a considerably large (several dozen) number of criteria and reduces the amount of memory required from the decision support systems that use this approach. It also allows a deeper understanding of the rational basis of the concept of "more important", used in all areas of human activity.

**Key words:** *decision making, multiobjective choice, universal importance criterions, boundary effect.*

**Citation:** *Piyavsky S.A.* Computational aspects of establishing universal tables of criterion's importance. *Ontology of Designing*. 2017; 7(3): 284-295. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-284-295.

## References

- [1] *Piyavsky SA*. How do we digitize the concept of «more important» [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 414-435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
- [2] *Keeney RL., Raiffa H.* Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. With a contribution by RICHARD R MEYER Harvard University. John Wiley & Sons New York Santa Barbara London Sydney Toronto П. John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [3] *Larichev OI*. Theory and methods of decision making [In Russian]. - М.: Logos, 2000. - 295 p.
- [4] *Larichev OI*. Verbal Decision Analysis [In Russian]. - М.: Nauka, 2006 - 181 p.
- [5] *Johannes J.* Vector Optimization: Theory, Applications, and Extensions. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2010. – 460 p.
- [6] *Ansari HQ., Jen-Chih Yao.* Recent Developments in Vector Optimization. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer-Verlag, 2010. – 550 p.
- [7] *Hirota N., Yeboon Y., Min Y.* Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 197 p.
- [8] *Malyshev VV., Piyavsky BS., Piyavsky SA.* A Decision Making Method Under Conditions Of Diversity Of Means Of Reducing Uncertainty, *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2010. V.49. N1. – p.44-58.
- [9] *Malyshev VV., Piyavsky SA.* The Confident Judgment Method In The Selection Of Multiple Criteria Solutions, *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2015; 54(5): 754-764.
- [10] *Brusov VS., Piyavsky SA.* Multi-criteria analysis of concepts of high-altitude unmanned aerial vehicles [In Russian], *News of Higher Schools., Aviation technology*, 2016; 4: 9-16.
- [11] *Saaty TL.* The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill. 1980. [Reprinted by RWS Publications, available electronically free, 2000].
- [12] *Saaty TL., Kearns KP.* Analytical Planning. The Organization of Systems. - Pergamon Press. Oxford New York Toronto Sydney Frankfurt. Elsevier Ltd. 1985. - 208 p. - ISBN: 978-0-08-032599-6.
- [13] *Saaty TL.* On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. *Notices of the American Mathematical Society*. 201360. . 10.1090/noti944.

## Сведения об авторе



**Пиявский Семен Авраамович** (1941 г. рождения). Окончил факультет летательных аппаратов Куйбышевского авиационного института в 1964 г., аспирантуру при кафедре динамики полета Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе в 1967 г. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и вычислительной техники Самарского государственного технического университета. Почетный работник высшей школы РФ, академик Академии наук о Земле и Академии нелинейных наук. Опубликовал более 350 научных работ в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, математического моделирования, образовательных систем и технологий.

**Semen Avraamovich Piyavsky** (b. 1941). Graduated from Kuibyshev Aviation Institute in 1964 and received a postgraduate degree (1967) at the Flight Dynamics Department at the Moscow Aviation Institute named after Ordzhonikidze. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Computer Science of Samara State Technical University. Honored Worker of Higher School of Russia, Academician of the Academy of Earth Sciences and Academy of Nonlinear Sciences. He has published over 350 scientific papers in the field of system analysis, optimization techniques and decision-making, mathematical modeling, education systems and technologies.



УДК 37.032.5

## ХОЛОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ ОБУЧАЕМЫХ

Е.А. Самойлов

Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия  
evge-samojlov@yandex.ru

### Аннотация

Приведён анализ противоречий в современной системе образования в России: между новыми требованиями личности, семьи, государства, системы профессионального образования к качеству индивидуального интеллектуального развития и уровнем исследования проблемы управления интеллектуальным развитием обучаемых; между необходимостью индивидуального подхода к развитию интеллектуального своеобразия каждого обучаемого и отсутствием комплекса дидактических средств, проектировочных и организационных умений у преподавателей и др. В статье описывается холонический подход к разрешению этих противоречий, согласно которому в организационной системе не предусматривается разделение на управляющую и управляемую подсистемы. Делегирование руководством части управленческих функций рядовым сотрудникам обеспечивает необходимое в управлении разнообразие и обеспечивает образовательной организации как макрохолону и её отдельным представителям устойчивость развития и выживание в изменчивом мире.

**Ключевые слова:** холон, актор, холоническая производственная система, управление интеллектуальным развитием, компетентностно ориентированное образование.

**Цитирование:** Самойлов, Е.А. Холонический подход к управлению интеллектуальным развитием обучаемых / Е.А. Самойлов // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С.296-309. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-296-309.

### Введение

На рубеже второго и третьего тысячелетий активизировался поиск новых педагогических идей, подходов, способствующих решению проблемы *управления интеллектуальным развитием обучаемых* (УИРО). Активность психологов, педагогов, специалистов в области частных дидактик обусловлена рядом причин.

*Специфика информационного общества* (динамичность, изменчивость, обилие потоков информации) вызывает потребность личности в действенном ядре базовых знаний и способов действий, а также в интеллектуальных качествах, позволяющих самостоятельно перерабатывать информацию, решать проблемы, конструктивно взаимодействовать с партнерами. Необходимым условием становления эффективной экономики, процветающего государства признаётся поиск и развитие уникальности каждого субъекта образовательного процесса, нацеленность на максимально эффективную деятельность с учётом общечеловеческих ценностей.

Эти особенности предопределили управленческую революцию в мире: на смену бюрократическим иерархическим организациям [1] приходят холонические организации [2-5]. Последние состоят из динамически взаимодействующих целостностей – холонов (от лат. *holon* – весь, целый), которые определяются как автономные элементы системы, способные к самообучению и адаптации без поддержки извне. В качестве элементарного холона рассматривается актор – человек, способный к приобретению знаний, принимающий решения о том,

какие действия предпринять в сложившейся проблемной ситуации, и участвующий в осуществлении этих действий [6]. Понятие «актор» противопоставляется понятию «функционар», деятельность которого состоит только в том, чтобы выполнять возложенные на него функции. Управление деятельностью холонических организаций в отличие от жёсткого, классически бюрократического управления подразумевает:

- 1) децентрализованное принятие решений акторами;
- 2) самоуправление, связанное с предоставлением сотрудникам организации возможности определять свои собственные задачи и планы, регулировать свою индивидуальную рабочую нагрузку;
- 3) повышение ответственности работников за свои действия;
- 4) осуществление эффективной коммуникации акторов, вступающих во взаимодействие;
- 5) использование компьютерной системы, которая становится неотъемлемой, «встроенной» частью организации [6, 7].

Экономические и социальные изменения предопределили модернизацию российской образовательной системы и, в частности, создание новых Федеральных государственных стандартов (ФГОС) [8]. В основу ФГОС положены идеи компетентностно ориентированного образования, которое призвано обеспечить выпускнику успешную адаптацию в системах информационного общества. Новые требования ФГОС к подготовке выпускников школы и ВУЗа детерминируют поиск адекватной системы УИРО.

*Современные условия образовательной деятельности:* объективный контроль обученности в форме единого государственного экзамена (ЕГЭ) и государственной итоговой аттестации (ГИА), в форме портфолио; креативные формы учебной деятельности (научные конференции, конкурсы, олимпиады) – вызывают необходимость в эффективном развитии продуктивной сферы интеллекта молодежи. В частности, результаты констатирующего педагогического эксперимента, проведённого в Самарском регионе, показали, что многие обучаемые испытывают значительные трудности при выполнении физических заданий с нестандартными условиями, с неоднозначными способами решения и альтернативными ответами [9].

*Индивидуализация* как глобальная мировая тенденция развития образовательных систем находит практическое воплощение в построении учебного процесса с учётом личностных особенностей обучаемых. Возникает потребность в учителях и преподавателях, способных прогнозировать и обеспечивать эффективность интеллектуального развития воспитанников с разными задатками, мотивацией, способностями.

В работе рассматривается холонический подход к построению системы УИРО, который положен в основу стратегии обучения проектировочным умениям студентов, будущих учителей физики. Сначала студенты знакомятся с теоретическим базисом УИРО [10], в том числе, анализируют холоническую модель регуляции образовательной деятельности обучаемых в школе как макрохолоне. Затем, в соответствии с изложенными идеями, будущих учителей ставят в позицию учащихся, побуждая к анализу холонического подхода к УИРО «изнутри» (глазами ученика). На заключительном этапе в ходе групповой учебной деятельности студенты самостоятельно разрабатывают и публично защищают проект УИРО при усвоении школьниками конкретной темы курса физики.

## **1 Соответствие образовательной системы холонической производственной системе**

Рассмотрим образовательную систему преподавателя педагогического ВУЗа и учителя школы как аналог *холонической производственной системы* (ХПС) [3, 4]. Тогда для построения модели УИРО целесообразно проанализировать подсистему управления в ХПС.

Всякая система управления состоит из входного и выходного устройств и каналов связи. Входные внешние сигналы преобразуются в выходные сигналы посредством функции преобразования системы. В жизнеспособных системах различают:

- алгедонические сигналы (греч. *algos* – боль, *hedos* – удовольствие), то есть оказывающие влияние посредством поощрения или наказания, без объяснений;
- аналитические сигналы, то есть объясняющие, зачем, почему и какие действия следует выполнять [3].

Управление осуществляется с помощью подсистемы обратной связи (ОС), под которой понимается возврат части выходной информации на вход системы, что приводит к изменению входного сигнала с помощью отдельной функции преобразования в цепи ОС. Устойчивость системе придаёт отрицательная ОС, благодаря которой влияние шума подавляется независимо от его величины, хаотичности, сорта и причины возникновения.

Кибернетическая модель управления, разделяющая систему на управляющее и управляемое звенья, базируется на классической рациональности [5]. Поэтому она эффективна для технических объектов, но оказывается несостоятельной при описании сложных социальных систем (в том числе ХПС). Холоническая модель управления строится на принципах постнеклассической рациональности, «возвращающих человека в теорию». В этой модели руководитель рассматривается как часть управляемой им организации, в которой функции регулирования распределены по всей её архитектуре [2-5].

В работе [3] выделено *пять уровней (звеньев) управления*:

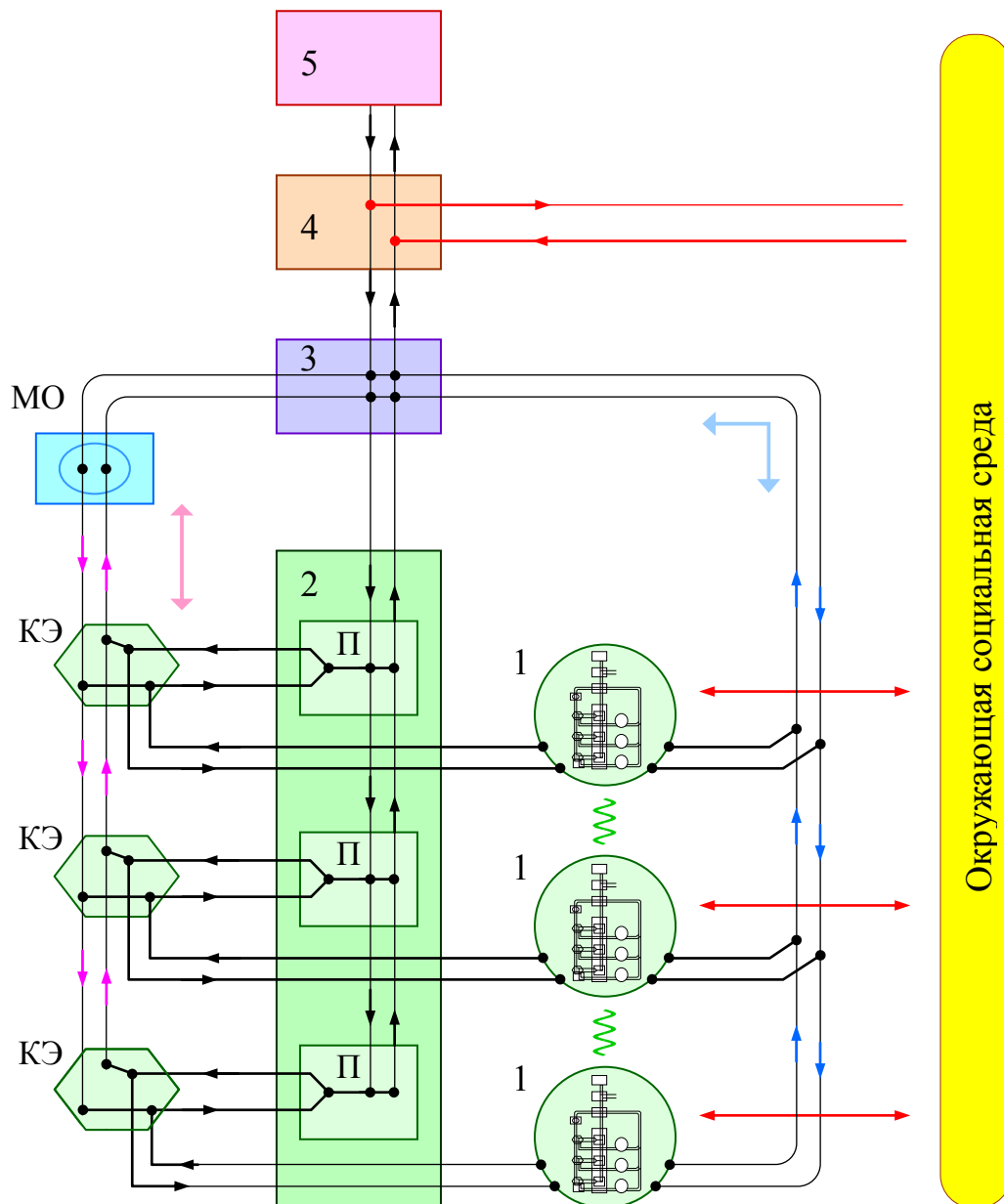
- 1) местное автономное управление;
- 2) центральное управление;
- 3) регулирование автономного местного управления;
- 4) переключатель, связывающий высшее волевое управление макросистемой и местное самоуправление;
- 5) высшее управление.

Центральным положением в [3] является утверждение о рекурсивности жизнеспособных организационных систем, согласно которому пятиуровневая иерархия управления макросистемы присутствует в каждом её автономном подразделении. Воспользуемся этими идеями для построения структурно-функциональной модели УИРО. Каждый обучаемый рассматривается как актер – человек, который может осознать сложившуюся проблемную ситуацию и осуществлять познавательную-деятельностную функцию для её регулирования [4]. Назовём *коллективным развивающимся субъектом* (КРС) объединение обучаемых и обучающего в единое целое (класс в школе, учебная группа в ВУЗе) для эффективного индивидуального интеллектуального развития каждого в процессе образовательной деятельности [11]. КРС является организационной системой, прообразом которой выступает коллектив ХПС [6]. Обучающий (преподаватель, учитель) уподобляется организатору, руководителю и управляющему (менеджеру) ХПС. В соответствии с теоремой о рекурсивности сложных организаций будем считать одинаковой управленческую иерархию в макрохолоне (факультет педагогического ВУЗа, школа), в холоне (КРС) и в элементарном холоне (обучаемый-актер). Отличия состоят в том, что в зависимости от масштаба холона функции каждого уровня управления либо разделяются между актерами, либо выполняются одним актером.

## 2 Модель пятиуровневого управления интеллектуальным развитием обучаемых

Дадим краткую характеристику пяти звеньям управления, учитывая аналогию регулирования в жизнеспособных системах разного ранга: «факультет ВУЗа», «школа». На рисунке 1 по-

казана модель управления образовательным процессом в макрохолоне «Школа», построенная по аналогии с моделью управления в ХПС [3].



1 – коллективы учащихся классов школы (КРС); 2 – центральная командная ось, в состав которой входят П – педагоги-предметники школы; МО – методические объединения учителей-предметников в школе; КЭ – коммутирующий элемент; 3 – заместитель директора по учебной работе; 4 – заместитель директора по науке и его консультанты; 5 – звено высшего управления школой во главе с директором как руководителем макрохолона; стрелками показаны потоки управленческой информации

Рисунок 1 - Холоническая пятиуровневая модель УИРО в образовательной системе школы

*Местное автономное управление* на факультете (в школе) как макрохолоне осуществляется преподавателем (учителем) как руководителем КРС (холона). Функциями автономного управления являются: связь с внешним миром; местное саморегулирование с целью поддер-

жания устойчивости внутреннего состояния, когда не требуется принятия волевого решения высшего управления.

*Центральное управление* на факультете является прерогативой преподавателей кафедры, а в школе – объединения учителей как руководителей подразделений (холонов), составляющих макрохолон. Центральное управление (центральная командная ось – см. рисунок 1) играет роль промежуточного звена между уровнями управления 1 и 3. Его функции таковы:

- внутренняя взаимная увязка текущей локальной деятельности подразделений и их деятельности в рамках общего плана макросистемы;
- подведение промежуточных итогов работы всех подразделений;
- коммутация данных для регулирования всей макросистемы до того, как начнутся обдумывание и намеренные действия высшего управления;
- фильтрация информации на пути в управленческое звено 3.

*Регулирование автономного местного управления* выполняется на факультете и в школе заместителями декана (директора школы), руководящими текущей образовательной деятельностью всего макрохолона с целью стабилизации внутренней обстановки в оргсистеме и рассматривается как высший уровень автономного управления и низший уровень управления всей макросистемой. Его функциями являются:

- фильтрация данных;
- ранжирование, координация автономных (рефлекторных) действий;
- распределение ресурсов;
- мониторинг выполнения плана, принятого звеном 5 (высшим управлением макросистемой).

*Переключатель, связывающий высшее волевое управление макросистемой и местное самоуправление.* Функцию переключателя на факультете ВУЗа и в школе осуществляет заместитель декана (директора школы), отвечающий за развитие макрохолона. Главная цель этого элемента в иерархии управления – помощь высшему руководству макросистемой в принятии решений на основе понимания сути внешнего мира и попыток предсказания будущего. В его функции входят: связь с внешним миром; соотнесение и согласование текущего состояния макросистемы и внешних событий (изменений в образовательном пространстве).

*Высшее управление* осуществляется на факультете ВУЗа и в школе командой управленцев, возглавляемой деканом (директором школы). Высшее управление и высшее руководство – это не одно и то же. Высшим руководителем факультета является декан, школы – её директор, но высшее управление в макрохолоне эффективнее всего осуществляется группой компетентных специалистов посредством решения сложных многоплановых проблем, стоящих перед макросистемой как единым целым. На факультете эту функцию выполняет учёный совет, в школе – совет школы. Цель высшего управления состоит в выборе направления движения, в разработке плана для обеспечения жизнеспособности макросистемы, в сосредоточенности на том, к чему макросистема стремится. Функционал высшего управления таков:

- выработка политики макросистемы, норм, правил, стиля отношений;
- планирование деятельности макросистемы;
- предсказание (прогнозирование) будущего состояния макросистемы;
- определение общего уровня предстоящих затрат и времени их освоения [3].

Пять названных уровней управления в макросистеме связаны восходящими и нисходящими потоками информации (от автономных подразделений к высшему руководству и обратно) вдоль центральной командной оси. В жизнеспособных макросистемах имеются ещё две другие возможности для передачи управленческой информации помимо центральной оси. На факультете ВУЗа первая возможность осуществляется посредством прямой коммуникации преподавателей (в школе – учителей) как дополнительная возможность регуляции и

интеграции деятельности вверенных им холонов – КРС. Этот канал связи служит целям возбуждения, стимулирования периферийной деятельности и выполняет следующие функции:

- стабилизация деятельности отдельных автономных подразделений в обход центральной командной оси, чтобы не перегружать её информацией;
- оперативность и ускорение стабилизации внутреннего состояния отдельных автономий благодаря возможности усиления информационного сигнала (с помощью указания, намека).

Этот же канал для передачи управленческой информации, минуя центральную командную ось, используется для принятия сдерживающих решений, противоположных стимулирующим действиям. Функции этого канала связи таковы:

- оперативное обсуждение образовательной обстановки в отдельных КРС без использования центральной командной оси;
- передача сигналов о чрезмерном напряжении в отдельных автономных подразделениях (КРС) сразу звену 3, которое автоматически даёт подразделениям команду приглушить их активность, одновременно сообщая об этом через звено 4 высшему управлению (в звено 5), где верстались планы (и звено 5 меняет планы).

Наличие двух периферийных каналов управления с противоположными тенденциями – сдерживающего и стимулирующего характера – обеспечивает внутреннюю гармонию макросистемы.

### **3 Особенности холонического пятиуровневого управления интеллектуальным развитием обучаемых**

#### **3.1 Управленческие функции звеньев 1 и 2 в макрохолоне «Школа»**

Эффективность интеллектуального развития каждого обучаемого существенно зависит от особенностей управления образовательным процессом в школе (макрохолоне). С точки зрения школы, КРС является холоном, автономным подразделением (звенья 1 на рисунке 1), в котором ученики – акторы (элементарные холоны) в терминологии холонического подхода к управлению [4] или субъекты образовательной деятельности в терминологии развивающего обучения [12]. С позиции школы учитель как руководитель КРС (педагог-предметник, обозначенный прямоугольником П на рисунке 1) должен действовать по заведённому в школе порядку и выполнять установленные этим порядком функции.

Учитель-предметник осуществляет руководство в КРС и, будучи его командным центром, аккумулирует и фильтрует информацию о происходящем в своём подразделении, выполняя операции коммутирующего элемента (КЭ на рисунке 1). Одновременно учитель-предметник входит в состав центральной командной оси – звена 2. В зависимости от вида и интенсивности информационных сигналов, полученных от обучаемых, учитель:

- принимает оперативные управленческие решения в КРС, например, в виде алгедонического одобрения при нормальной работе вверенной ему оргсистемы или алгедонического порицания в случае её отклонения от нормальной образовательной деятельности;
- направляет наиболее значимую информацию в звенья 3, 4 или 5 по центральной командной оси, не перегружая без острой необходимости этот канал связи (передаются, например, результаты административных контрольных работ; образовательные показатели КРС за учебную четверть, полугодие, год и др.);
- выполняет регуляционные действия для стабилизации обстановки в своём подразделении в обход центральной оси посредством симпатических (стимулирующих) информационных каналов связи, показанных вертикальными стрелками на рисунке 1, например,

«выравнивание» параллельных классов или подгрупп класса, с которыми работает учитель физики, в целях синхронности освоения образовательной программы посредством предъявления «ушедшим вперёд» заданий на расширение или углубление знаний в рамках изучаемой темы; побуждение учителя математики, преподающего в этом же классе, к дополнительной проработке со школьниками тех элементов математического знания, которые необходимы для успешного усвоения данной темы курса физики. Прямые («горизонтальные») управленческие контакты между учителями (обмен информацией, взаимовлияние) повышают эффективность решения текущих образовательных задач.

Механизм автономного регулирования в КРС принимает как наперёд заданное существование нормально работающего подразделения в соответствии с алгоритмом достижения образовательных целей и наличие совокупности управленческих инструкций. Этот механизм при всех обстоятельствах поддерживает образовательную деятельность КРС сбалансированной, физически здоровой, духовно- и интеллектосообразной. Образовательная деятельность не предусматривает вмешательства управленца более высокого уровня – заместителя директора школы (завуча) по вопросам текущей деятельности (звено 3 на рисунке 1). Завуч принимает волевые управленческие решения, касающиеся конкретного КРС, в форс-мажорных ситуациях, когда информационные импульсы из КРС достигают определённой частоты и интенсивности и преодолевают порог срабатывания фильтров центральной командной оси, локализованных в коммутирующих элементах (КЭ на рисунке 1).

С позиции обучаемых (представителей КРС) учитель-предметник единолично выполняет в подразделении регулирующие функции, которые на уровне управления школой распределены между системами 3, 4, 5. В его обязанности входит программное, целевое и нормативное планирование в КРС; постоянное уточнение образовательного плана по центральной командной оси; оперативное отображение и осмысление текущего положения дел; поиск способов регуляции КРС, обеспечивающих возможности гибкой модернизации образовательного плана в соответствии с возникающими трудностями. Выполнение этой совокупности действий позволяет учителю-предметнику предвидеть будущее и эффективно поддерживать устойчивость внутреннего состояния КРС в случаях, когда не требуется привлечение административных возможностей руководителей школы.

Эффективность управленческой деятельности учителя-предметника как командного центра в КРС во многом определяется качеством его обратной связи: организацией информационных потоков между представителями КРС и учителем, настройкой алгедонической цепи (системы контроля и оценки, комплекса поощрений и порицаний учащихся) и т.д.

Если функция преобразования учителя неверно учитывает образовательные условия в КРС, то такая оценка может быть сделана только метасистемой – более высоким элементом в иерархии школьного управления (в первую очередь, звеном 3, то есть завучем, курирующим вопросы текущей образовательной деятельности в школе).

Так любое существенное отклонение от школьного плана, вызванного, например, изменением ФГОС или предписываемого количества часов на изучение учебной дисциплины, может быть урегулировано только централизованно как модификация плана школы.

Учитель-предметник, как руководитель автономного подразделения школы, вместе с другими своими коллегами входит в состав центральной командной оси (звено 2 на рисунке 1), функционирование которой происходит под эгидой методического объединения учителей (МО) – координатора образовательной деятельности в школе. Учитель-предметник, как руководитель КРС, делегирует часть своих управленческих полномочий периферийным по отношению к центральной командной оси начальникам, функции которых выполняют отдельные учащиеся-акторы в процессе решения локальных образовательных задач (проверка ученических тетрадей с домашними заданиями, взаимоконтроль, решение задач в микро-

группах переменного состава и пр.). Отчётная информация передаётся учителю-предметнику.

Вызывает интерес опыт организации систематического самостоятельного (автономного) учения в экипажах из четырёх человек, выполняющих игровые функции командира, штурмана, первого пилота и второго пилота [13, с.24]. Взаимный опрос и взаимооценка обучаемых, гуманный учёт особенностей их интеллектуального развития, продуманная организация обратной связи, – всё это стимулирует развитие лидерства, сотрудничества [14], способствует накоплению когнитивного и метакогнитивного опыта [15].

### 3.2 Управленческие функции руководства школой

Деятельность звена 2 управляется звеном 3, функции которого чаще всего выполняет заместитель директора (завуч) по учебной работе, регулирующий текущую образовательную деятельность автономных подразделений (КРС). Звено 3 несёт ответственность за стабилизацию внутренней обстановки, то есть гомеостаз школы (греч. *homoios* – подобный; *stasis* – состояние, неподвижность), а именно:

- устойчивость основных образовательных функций школы как целостного организма;
- относительное динамическое постоянство состава (количества учеников и педагогических кадров);
- относительное динамическое постоянство свойств внутренней среды (возрастной баланс и высокая квалификация учительского корпуса; миссия, политика и традиции школы; благожелательная атмосфера в коллективе; адекватное понимание смысла терминов, регулирующих деловые отношения в школе как макроколоне [14]).

В своей деятельности звено 3 использует модели стандартного функционирования КРС, воплощённые в механизмах управления. Эти модели рассматриваются как образцы, в сопоставлении с которыми измеряется отклонение от стандартного поведения (критериями могут служить, например, средняя для этого образовательного учреждения успеваемость или качество знаний).

В обязанности звена 3 входит: фильтрация информационных данных и направление сигналов высшему управлению (звену 5) в случае острой необходимости; мониторинг выполнения автономными подразделениями программы развития и образовательного плана школы, утверждённых звеном 5; ранжирование и координация образовательных действий всех КРС. Для решения этих задач используются три вида информационных потоков.

*Поток отчётной информации из звена 2.* Это сведения о результатах контрольных работ в КРС, проводимых администрацией школы, о прохождении образовательной программы, об интеллектуальных достижениях представителей КРС, о нарушениях в автономных подразделениях. Выделяется наиболее значимая образовательная информация и передаётся звену 5. Записи о таких передачах регистрируются.

*Поток директив, направляемых вниз по центральной командной оси.* На правах элемента управления школой звено 3 передаёт КРС плановые и специальные указания (например, о сроках проведения в КРС контрольных срезов, об изменениях в расписании, о коррекции образовательных планов и пр.). Устойчивость функционирования КРС во многом зависит от постоянства потока указаний и регулирующей информации внутри школы.

*Поток сдерживающих директив и рекомендаций* (показан на рисунке 1 вертикальными стрелками справа от центрального канала связи), который альтернативен потоку стимулирующих сигналов (показан вертикальными стрелками слева от центрального командного канала связи). Управление потоками сдерживающей информации является важным направлением деятельности звена 3, обеспечивающего внутришкольный гомеостаз.



Звено 3 руководит внутренней обстановкой в школе тремя способами:

- как метасистемный контролёр, прямые управляющие действия которого целенаправлены *вниз* звену 1 (учителя – руководители КРС) и звену 2 (МО учителей);
- как главный фильтр официальных школьных новостей, направляемых *вверх* звену 5;
- как управленец, сигналы которого в виде поощрений и порицаний являются для звеньев 1 и 2 элементом обратной связи.

Качество работы звена 3 контролируется и оценивается метазвеньями 4 и 5, имеющими более высокий ранг в иерархии школьного управления, хотя все эти три звена относятся к руководству школой. Необходимость в звене 4 возникает в условиях динамично изменяющейся внешней среды. Сегодня российские школы вынуждены конкурировать на рынке образовательных услуг. Для выживания в стихии рынка каждая школа вынуждена адаптироваться в изменчивом, динамичном и непредсказуемом внешнем мире, знать и учитывать современные тенденции развития образовательных систем, предвидеть будущее. Звено 4 является аналитическим центром, который помогает звену 5 в поиске ориентиров и курса развития школы, в определении её миссии и выработке политики на ближнюю и дальнюю перспективы. Школьные управленческие звенья 3 и 4 взаимно дополняют друг друга.

Функции звена 4 чаще всего выполняет управленец, именуемый заместителем директора школы по науке, хотя, по сути, он является заместителем директора по развитию. В обязанности звена 4 входит решение следующих задач.

*Получение, анализ и оценка данных о внешней среде.* Это информация о тех изменениях в окружающем образовательном пространстве, которые могут повлиять на устойчивость и жизнеспособность школы в той или иной перспективе. Учитываются изменения на глобальном (международном), государственном, региональном и локальном уровнях.

*Оценка степени соответствия образовательной деятельности школы реалиям внешнего мира.* Разработка и представление звену 5 возможных вариантов ответных действий школы на изменения в окружающей среде для организации эффективного планирования школьной работы.

*Фильтрация и передача звену 5 информации по проблемам развития школы,* требуемой высшему управлению для регулирования образовательной деятельности КРС, руководство которыми осуществляется на нижних уровнях школьной управленческой иерархии.

*Передача управленческим звеньям 3, 2, 1 сигналов* в виде сообщений, распоряжений, указаний, приказов.

*Руководство алгедонической системой* (средствами морального или материального стимулирования сотрудников).

Важнейшим инструментом деятельности звена 4 является динамичная модель функционирования и развития школы, учитывающая влияние внешней среды. Ключевым элементом управления является гибкое планирование образовательной деятельности. Общешкольный план систематически пересматривается для того, чтобы поддерживать баланс между внешним образовательным пространством и представлением школы о нём. Регулирование образовательной деятельности школы на уровне звена 4 должно обеспечить рост компетентности акторов (учащихся и педагогов). Направление работы звена 4 подразумевает выявление, оценку и прогноз соответствия между качеством развития интеллекта учеников школы и требованиями заказчиков образования (родителей и учащихся, государства, системы профессионального образования). Соперничество побуждает школы проверять эффективность современных перспективных педагогических концепций [16], психологических моделей интеллекта [15], технологий обучения [17], технических средств обучения. Побуждение учителей к исследованию влияния перечисленных факторов (и их сочетаний) на качество развития

индивидуального интеллекта, анализ публикаций по этой тематике входят в круг обязанностей управленческого звена 4.

Звено 5 решает следующие задачи:

- определяет миссию, стратегические цели, политику школы;
- разрабатывает общешкольные образовательные планы и корректирует их в ответ на флуктуации внешних и внутренних факторов;
- информирует управленческие звенья 1 - 4 о целях и задачах, миссии, политике, планах школы как макрохолона по центральной командной оси;
- заботится о том, чтобы, выполняя свои функции в общешкольной иерархии управления и решая локальные образовательные задачи, акторы видели конечные результаты образовательной деятельности школы как целого, осознавали свой вклад в гомеостаз и прогрессивное развитие макрохолона.

В современных условиях задачи, стоящие перед высшим управлением, настолько сложны, что их эффективное решение требует привлечения компетентных специалистов. В команде, составляющей звено 5, директор, как ответственный руководитель, становится «первым среди равных», и на смену авторитарным методам и отношениям приходят коллегиальные методы, основанные на взаимном уважении и взаимопонимании. «Соглашение достигается в результате аргументации, а не принуждения» [18, с.8].

Решение звеном 5 общешкольных образовательных задач *стратегического* характера требует сложной аналитической работы с применением разнородных научных знаний (педагогических, психологических, предметных, управленческих и пр.). Однако в ходе «мозгового штурма» *текущих* проблем часто решающую роль играют не научные, объяснительные, верифицированные знания, а персональные, имеющие практическую ценность в конкретных жизненных ситуациях. Это объясняется, прежде всего, тем, что в масштабе реального времени более значима не мощность анализа причинно-следственных связей, а скорость распознавания, понимания и быстрота реагирования на изменения. Поиск согласованного решения на основе солидарности неоднородных акторов ставит во главу угла не столько полноту и непротиворечивость знания, сколько его ценность, основанную на взаимопонимании, на погружении каждого человека в мир смыслов других людей. «Несмотря на различные жизненные позиции и интересы, акторы должны быть мотивированы на достижение консенсуса путем переговоров, направленных на сближение точек зрения» [18, с.4]. В основу переговоров неоднородных акторов должно быть положено требование, чтобы все мотивы, кроме готовности к рационально обоснованному соглашению, были исключены [19].

#### **4 Трудности и риски холонического управления интеллектуальным развитием обучаемых**

1. Предложенная структурно-функциональная модель УИРО сочетает в себе иерархические отношения и холонический подход к управлению сложными оргсистемами. При штатной иерархической организации образовательного процесса предполагается автономная образовательная деятельность КРС под руководством обучающихся, которым администрация делегирует часть своих управленческих полномочий и долю ответственности за конечный результат интеллектуального и духовного развития обучаемых. Обучающий, в свою очередь, действует аналогично, отдавая часть своих управленческих полномочий и ответственности обучаемым в ходе решения локальных образовательных задач. Обучающий регулирует образовательную деятельность КРС как монохолона и является для администрации штатным руководителем первого уровня в иерархии управления образовательного учреждения. С пози-

ции руководства он обязан выполнять функции управляющего 1 и 2 звеньев, а в глазах обучаемых выступает носителем функций управленческих звеньев 3, 4, 5 (рисунок 1).

Обучаемому предписывается конструктивно взаимодействовать с коллегами в звеньях «педагог-педагог», «педагог-администрация»; участвовать в процессах коммуникации, соотнося индивидуальные ценности с групповыми ценностями. Он будет вынужден брать на себя долю ответственности, проявлять инициативу в рамках многогранной деятельности управленческого звена 2.

2. С позиции педагога как руководителя КРС обучаемые могут быть носителями функций звеньев 1, 2, 3, 4 (рисунок 1). При этом в зависимости от используемой в учебном процессе организационной формы возможны следующие три ситуации.

- 1) В процессе коллективной образовательной деятельности (предельный вырожденный случай) КРС рассматривается как единый элементарный холон, а все обучаемые – как однородное целое с совпадающими ценностями, мотивами, устремлениями.
- 2) В рамках групповой деятельности обучаемые входят на правах акторов в составные холоны, управляемые отдельными руководителями-актерами.
- 3) В ходе индивидуальной образовательной деятельности каждый обучаемый является элементарным холоном, входящим в состав КРС как штатного монохолона постоянного состава.

В первой ситуации КРС синхронно выполняет функции звена 1, управляемого педагогом. Эта ситуация важна для развития коллективного духа, общности, солидарности.

Вторая ситуация наиболее богата возможностями для накопления управленческого (метакогнитивного) опыта, для развития ключевых компетенций [14]. В зависимости от характера образовательной задачи и количественного состава холона (автономной группы переменного состава) возможны различные варианты распределения управленческих ролей. Руководящий актер выполняет функции звена 5 или объединяет функции звеньев 3, 4, 5, а остальные играют роль автономных акторов с обязанностями звеньев 1 и 2. Возможно распределение всех функций между отдельными обучаемыми-актерами.

В третьей ситуации каждый обучаемый получает индивидуальное задание, и в процессе его выполнения выполняет функции всех пяти звеньев управления. Эта ситуация важна для становления у обучаемого уверенности в своих силах, в личных организаторских и управленческих способностях, ибо «организуя сначала себя, прежде чем управлять другими».

Перемещения вверх и вниз по иерархической лестнице управления в процессе решения соответствующих образовательных задач предоставляют обучаемому возможности для накопления управленческого опыта.

3. С позиции обучаемого (в системе отсчета «Обучаемый») он – «сам себе голова», автономная саморегулируемая жизнеспособная система с пятиуровневой системой управления. Очевидна связь управленческих функций с организацией индивидуального ментального опыта субъекта [15]. Противоречия между индивидуальным интеллектуальным развитием и коллективной прогрессивной эволюцией КРС, между личными и групповыми ценностями являются источником отдельной совокупности проблем УИРО. Процесс самоактуализации как поиск и развитие субъектом своей «самости» [20] связан именно с изучением актором своих ценностных, интеллектуальных (в том числе и управленческих) особенностей в ходе решения образовательных задач и соотносением, сопряжением личной уникальности с индивидуальностями других субъектов. «Акторов вынуждает договариваться стремление к свободе самореализации, которая, как известно, заканчивается там, где начинается свобода другого актора» [21].

4. Пятиуровневая иерархия УИРО неизбежно создаёт коммуникативные трудности, как по горизонтали, так и по вертикали. С одной стороны, они детерминированы соревнованием

и нередко конкуренцией акторов, находящихся на одном уровне иерархической лестницы. С другой стороны, возможны трения между акторами, принадлежащими системам разного ранга управления (обучаемый – обучающий, учитель – завуч, завуч – директор), которые обусловлены неодинаковым видением одной и той же проблемы. Управленец более высокого уровня использует метаязык, непонятный подчиненным в силу того, что видит проблему шире и глобальнее, с позиции устойчивости и жизнеспособности всей макросистемы, что нередко противоречит интересам автономного подразделения этой макросистемы.

Указанные трудности и риски компенсируются бесценным опытом самоорганизации участников образовательного процесса, развитием их интеллектуальных и волевых ресурсов в соответствии с нравственными критериями. Приобретаемый управленческий опыт, накапливаемый интеллектуально-волевой и нравственный потенциал акторов служат основой динамического равновесия и жизнеспособности макрохолонеров и их автономных элементов в современной образовательной среде.

### Заключение

В предложенной холонической модели УИРО, построенной в соответствии с идеями управления жизнеспособной оргсистемой (то есть способной расти, учиться, эволюционировать и адаптироваться в нестабильной среде), нет жёсткого разделения на управляющую и управляемую подсистемы, которое положено в основание классического бюрократического подхода. Делегирование части управленческих функций акторам, несущим ответственность за предлагаемые ими управленческие решения, обеспечивает необходимое в управлении разнообразие и возможность «получения надёжного результата из ненадёжных компонентов», что, в конечном счёте, и обеспечивает школе как макрохолону и её отдельным акторам устойчивость и выживание в изменчивом мире.

Использование для построения модели УИРО холонического подхода к управлению оргсистемами может способствовать успешной адаптации выпускников образовательного учреждения в информационном обществе. Сочетание холонических идей с постнеклассической рациональностью при моделировании образовательной деятельности в школе служит целям развития таких востребованных сегодня в обществе ключевых компетенций, как сотрудничество, лидерство (возлагание на себя ответственности), коммуникация, новаторство; создаёт условия для преемственности на разных ступенях непрерывного индивидуального образования; благоприятствует профессиональной и социальной эффективности (компетентности) субъекта.

### Список источников

- [1] *Weber, M.* The theory of social and economic organization. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1947.
- [2] *Акофф, Р.Л.* За пределами социализма и капитализма: развивающееся общество / Р.Л. Акофф // Проблемы управления в социальных системах. Том 1. Выпуск 2. – Томск: ТГУ, 2009. – С.112-140.
- [3] *Бир, С.* Мозг фирмы / С. Бир – М: Либроком, 2009. – 416 с.
- [4] *Виттих, В.А.* Организация сложных систем / В.А. Виттих – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 66 с.
- [5] *Стёпин, В.С.* Саморазвивающиеся системы и философия синергетики / В.С. Стёпин - <http://www.spkurdyumov.narod.ru/>.
- [6] *Виттих, В.А.* Концепция управления открытыми организационными системами / В.А. Виттих // Известия Самарского научного центра РАН. – 1999. – №1. – С.55-76.
- [7] *Хэмптон, Д.Д.* Организации будущего / Д.Д. Хэмптон // В энциклопедическом справочнике «Современное управление», т.1. – М.: Издатцентр, 1997. – С.1-74.

- [8] Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования / Приказ Минобрнауки России от 29.12.2014 № 1645. - <http://минобрнауки.рф> (Дата обращения 21.07.2016).
- [9] **Самойлов, Е.А.** Экспериментальная оценка интеллектуального развития учащихся классов физико-математического профиля / Е.А. Самойлов, Ю.А. Охупкина // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2012. – №8. – С.64-74.
- [10] **Самойлов, Е.А.** Управление интеллектуальным развитием школьников при обучении физике в классах физико-математического профиля. Монография / Е.А. Самойлов. – Самара: ПГСГА, 2013. – 452 с.
- [11] **Самойлов, Е.А.** Коллективный развивающийся субъект как идеализированный объект в концепции управления интеллектуальным развитием школьников / Е.А. Самойлов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2012. – №5. – С.85-94.
- [12] **Давыдов, В.В.** Теория развивающего обучения / В.В. Давыдов – М.: ИНТОР, 1996. – 544 с.
- [13] Урок физики в современной школе. Творческий поиск учителей: Книга для учителя / Составитель Э.М. Браверман; под ред. В.Г. Разумовского. – М.: Просвещение, 1993. – 288 с.
- [14] **Самойлов, Е.А.** Компетентностно ориентированное образование: социально-экономические, философские и психологические основания. Монография / Е.А. Самойлов. – Самара: СГПУ, 2006. – 160 с.
- [15] **Холодная, М.А.** Психология интеллекта: парадоксы исследования / М.А. Холодная – Томск: Томский университет, М.: «Барс», 1997. – 392 с.
- [16] Рабочая концепция одаренности. – М.: Министерство образования РФ, 2003. – 94 с.
- [17] **Селевко, Г.К.** Современные образовательные технологии / Г.К. Селевко. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.
- [18] **Виттих, В.А.** Введение в теорию интересубъектного управления / В.А. Виттих. – Самара, 2013. – 64 с.
- [19] **Хабермас, Ю.** Моральное сознание и коммуникативное действие / Ю. Хабермас – СПб.: Наука, 2006. – 384 с.
- [20] **Маслоу, А.** Новые рубежи человеческой природы / А. Маслоу – М.: Смысл, 1999. – 425 с.
- [21] **Виттих, В.А.** Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – № 2 (8). – С. 20-25.
- 

## **HOLONIC APPROACH TO CONTROL INTELLECTUAL DEVELOPING LEARNERS**

**E.A. Samoilov**

*Samara State Social and Pedagogical University, Samara, Russia  
evge-samojlov@yandex.ru*

### **Abstract**

Analysis of the features of modern society, trends in the development of educational systems, state general secondary and higher education in Russia, as well as the results of ascertaining experiment reveal the complex contradictions: between the new identity requirements of the family, the state, the vocational training system to the quality of individual intellectual development and the level research control intellectual development of students; between the need for an individual approach to the development of a unique and intellectual identity of each student in a group and the absence of the indicative range of relevant fundamentals, teaching tools, designing and organizational skills of many teachers; between the broad didactic possibilities of modern training equipment, technical training and the lack of adequate teaching materials that provide system control intellectual development of students (CIDS) with a high level of assimilation of the academic content. These contradictions determine the relevance and the need to create modern intelligent control concept of the development of learners, adequate characteristics of the information society. This article describes holonic approach to solving this problem, according to which organizational system does not provide for the separation of managing and managed subsystems. Delegation is the leadership part of the administrative functions to ordinary employees is necessary in the management of diversity and the possibility of "obtaining reliable results from unreliable components", which in the end, and provides the educational organization as macro holon and its individual members, the sustainability and survival in a changing world.

**Key words:** *holon, actor, holonic production system, control of intellectual development, the competence-oriented education*

**Citation:** *Samoilov EA. Holonic approach to control intellectual developing learners [In Russian]. Ontology of designing. 2017; 7(3): 296-309. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-7-3-296-309.*

## References

- [1] *Weber M.* The theory of social and economic organization. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1947.
- [2] *Ackoff RL* Re-Creating the Corporation: A Design of Organizations for the 21st Century. Gardners Books, 1999.
- [3] *Beer S.* Brain of the Firm; Second Edition (much extended), John Wiley, London and New York, 1981.
- [4] *Wittich V.A.* The organization of complex systems [In Russian]. - Samara: Samara Science Centre of Russian Academy of Sciences, 2010. - 66 p.
- [5] *Stepin VS.* Self-developing system and philosophy of synergy [In Russian]. - <http://www.spkurdyumov.narod.ru/> (reference date 24.04.2011).
- [6] *Wittich VA.* The concept of open management of organizational systems [In Russian]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - 1999. - №1. - P.55-76.
- [7] *Hampton DD.* Organizations of the future [In Russian]. The encyclopedic reference "Modern Management", Vol.1. - M.: Izdatsentr, 1997. - P.1-74.
- [8] On approval and enactment of the federal state educational standard of secondary education [In Russian] / Order of the Russian Ministry of 29.12.2014 № 1645. - <http://минобрнауки.рф>.
- [9] *Samoilov EA.* Experimental evaluation of the intellectual development of students in grades physical and mathematical structure [In Russian] // Distance and virtual learning. - 2012. - №8. - P.64-74.
- [10] *Samoilov EA.* The control of intellectual development of schoolboys at training to the physicist in classes of physical and mathematical structure [In Russian]. - Samara: PGSGA, 2013. - 452 p.
- [11] *Samoilov EA.* Collective developing the subject as an idealized object in the intellectual development of school management concepts [In Russian] // Distance and virtual learning. - 2012. - №5. - P.85-94.
- [12] *Davydov VV.* The theory of developmental education [In Russian]. - M.: INTOR, 1996. - 544 p.
- [13] Physics lesson in the modern school. Creative Search Teachers: Teacher's Book [In Russian]/ Compiled by E.M. Braverman; ed. V.G. Razumovsky. - M.: Education, 1993. - 288 p.
- [14] *Samoilov EA.* Competence oriented education: social, economic, philosophical and psychological grounds [In Russian]. - Samara: SSPU, 2006. - 160 p.
- [15] *Kholodnaya MA.* Intelligence Psychology: paradoxes of research [In Russian]. - Tomsk: Tomsk State University, M.: "Bars", 1997. - 392 p.
- [16] Working concept of giftedness [In Russian]. - M.: Ministry of Education, 2003 – 94 p.
- [17] *Selevko GK.* Modern educational technology: the manual [In Russian]. - M.: Education, 1998. - 256 p.
- [18] *Wittich VA.* Introduction to the theory intersubjective management [In Russian]. – Samara, 2013. – 64 p.
- [19] *Habermas J.* Moral Consciousness and Communicative Action. - Oxford. 1993.
- [20] *Maslow A.* The Farther Reaches of Human Nature. Harmondsworth - Penguin, 1971.
- [21] *Vittikh VA, Moisseeva TV, Skobelev PO.* A decision on the basis of consensus with the use of multiagent technologies [In Russian]. Ontology of designing. 2013; 2(8): 20-25.

## Сведения об авторе



*Самойлов Евгений Андреевич*, 1961 г. рождения. Окончил Куйбышевский государственный педагогический институт им. В.В. Куйбышева в 1983 г., аспирантуру Самарского государственного педагогического университета в 1994 г. В 1994 г. защитил кандидатскую и в 2013 г. докторскую диссертации. Доктор педагогических наук, профессор кафедры физики, математики и методики обучения Самарского государственного социально-педагогического университета. В списке научных трудов – более 160 работ в области развития продуктивного мышления и управления интеллектуальным развитием обучающихся, в том числе две монографии и 16 учебных пособий.

*Evgeny Andreevich Samoilov* (b. 1961) graduated from the Kuibyshev State Pedagogical Institute in 1983. In 1994 he defended his Ph.D. and in 2013 doctoral dissertation. Doctor of Education, professor of physics, mathematics and methods of teaching social and Samara State Pedagogical University. He is author more than 160 publications in the field of development of productive thinking and control of the intellectual development of students.

УДК 004.02

## МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЗАПРОСА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.С. Клещев, В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева

*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия  
kleshev@iacp.dvo.ru, gribova@iacp.dvo.ru, shalf@iacp.dvo.ru*

### Аннотация

В статье рассматривается задача сбора необходимой информации о ситуации, обычно решаемая в процессе диагностики для сокращения числа гипотез о диагнозе. На практике при решении этих двух задач важно учитывать все виды причинно-следственных отношений, изменчивость значений признаков с течением времени, влияние событий на динамику значений признаков. Предложенный в статье алгоритм решения этой задачи сводит её к выявлению дифференциаторов среди известных измеряемых признаков. Выявление дифференциаторов производится с использованием знаний о развивающихся внутренних процессах и влиянии на них внешних событий. Такой алгоритм применим для решения задачи запроса дополнительной информации для распознавания ситуаций в различных областях деятельности.

**Ключевые слова:** онтология предметной области, задача диагностики, множество гипотез, дифференцирующий признак, алгоритм решения задачи.

**Цитирование:** Клещев, А.С. Метод решения задачи запроса дополнительной информации / А.С. Клещев, В.В. Грибова, Е.А. Шалфеева // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С. 310-322. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-310-322.

### Введение

Одним из средств повышения эффективности диагностики является использование технологии экспертных систем (ЭС), как средства, позволяющего принять во внимание значительное количество диагностических признаков и минимизировать ошибки, связанные с субъективными факторами. К настоящему времени разработано большое их количество в различных предметных областях (ПрО): диагностика неисправностей в механических и электрических устройствах, медицинская диагностика, диагностика болезней животных, идентификация состояния сельскохозяйственных объектов, диагностика в эпизоотологии и др. Различаются принципы построения диагностических ЭС. Так, некоторые ЭС ориентированы на выдвижение множества полезных гипотез, другие - на выдвижение одной наиболее вероятной гипотезы, в ряде диагностических ЭС используется принцип построения, основанный на конструктивной критике выдвинутой пользователем гипотезы. Наиболее распространены ЭС, которые поддерживают задачу диагностики, предлагая специалисту множество полезных гипотез, которое далее должно быть уменьшено. Однако известные из литературы методы её решения не учитывают одновременно все виды причинно-следственных отношений, промежутки времени, прошедший с момента начала развития диагностируемого процесса, изменчивость значений признаков с течением времени, влияние событий на динамику значений признаков. Целью работы является описание алгоритма запроса дополнительной информации для сокращения множества гипотез о диагнозе, позволяющего снять указанные ограничения.

## 1 Проблемы и обзор решений

### 1.1 Постановки задачи запроса дополнительной информации

При обсуждении спектра задач, решаемых в ПрО на основе экспертных знаний, нередко упоминается необходимость определения того, какой информации не хватает, чтобы получить множество решений. Чаще всего необходимость запроса дополнительной информации возникает при решении задачи диагностики [1-8], реже в других задачах («с неопределёнными знаниями») для доопределения недостающей информации [9]. В ряде ПрО решаются задачи относительно систем или объектов, у которых различные процессы протекают во времени. Тогда под диагностикой понимается распознавание внутреннего процесса, который не присущ диагностируемому объекту при нормальном его функционировании (в медицине - заболевание). Нередко под диагностикой понимается не только распознавание типа отклонения параметров функционирующей системы от нормативных, но и выявление причин, приведших к возникновению этих отклонений в системе.

При решении задачи диагностики специалисты вынуждены одновременно решать и другую задачу – сбора необходимой информации о ситуации, а именно: решать, какие исследования следует выполнить, чтобы на их основе принять верное решение. Среди ЭС, решающих задачу диагностики, можно выделить класс таких, которые помимо решения задачи диагностики дают рекомендации относительно того, какая информация о ситуации необходима для этого [1, 3-8]. Их можно разделить на два подкласса:

- ЭС, в которых задача запроса информации не отделяется от задачи диагностики, а решается в ходе выполнения общего для обеих задач алгоритма [6, 10];
- ЭС, в которых эти две задачи разделены [1, 3, 4, 6-8].

Информация, получаемая при обследовании, используется далее как для выдвижения такого множества гипотез о диагнозе, в котором должна содержаться правильная гипотеза, так и для сокращения этого множества до одной гипотезы. Среди ЭС, в которых задача запроса информации отделяется от задачи диагностики, можно выделить два пересекающихся подкласса:

- ЭС, в которых запрашивается информация для выдвижения гипотез о диагнозе [3];
- ЭС, в которых запрашивается информация для сокращения множества гипотез [1, 4, 6-8].

В ЭС, в которых запрашивается информация для сокращения множества гипотез, иногда рассматривают диагноз, содержащий несколько отклонений от нормы (например, заболевание) [3, 4], и ЭС, в которых диагноз «простой» (содержит один класс отклонений от нормы) [1, 2, 6, 8]. Для последнего случая формальная постановка задачи запроса дополнительной информации [11] состоит в следующем.

**Дано:** База знаний (БЗ, англ. KB), содержащая описание множества диагностических классов, классы обладают свойством делимости;

множество гипотез  $H_{R,KB}$  для некоторого объекта диагностики, такое, что мощность множества  $H_{R,KB}$  не меньше двух;

описание диагностируемой ситуации - набор известных значений признаков  $R$  объекта диагностики (наблюдений).

**Найти:** такой запрос дополнительной информации ( $Q$ ) о ситуации – значение (обычно или желательно одного) признака объекта диагностики, с которым новое множество гипотез будет иметь меньшую мощность, чем множество гипотез  $H_{R,KB}$ .

Будем называть для простоты диагнозом сам диагностируемый процесс (один класс отклонений от нормы). И будем полагать, что БЗ удовлетворяет условию делимости классов, если для любой пары  $\langle R, \text{диагноз} = \text{класс}_i \rangle$ , для которой в БЗ есть истинные предложе-



ния, в этой же БЗ существуют ложные предложения относительно любой пары ( $\langle R, \text{класс} = \text{класс}_j \rangle$ ), при любом  $j \neq i$  (т.е. всегда есть предложение, не позволяющее этой ситуации принадлежать какому-то другому классу).

Как результаты наблюдения, так и запрашиваемая дополнительная информация традиционно относятся к признакам объекта диагностики, представляющим собой значения измеряемых или наблюдаемых (визуально или контактно) свойств объекта и к связанным с объектом внешним событиям.

Суть задачи запроса дополнительной информации для сокращения множества гипотез о диагнозе состоит в следующем: по имеющимся признакам объекта диагностики, для которых существует более одной гипотезы о диагнозе, требуется предложить дополнительный признак, значение которого, полученное в результате наблюдения или измерения, позволит сократить множество гипотез.

## 1.2 Обзор предлагаемых методов

В литературе рассматриваются подходы к решению задачи сокращения множества гипотез о диагнозе, включающие следующие методы запроса дополнительной информации для распознавания:

- запрашиваются значения таких признаков, что какое бы значение ни было получено в результате наблюдения признака, множество гипотез о диагнозе всегда будет сокращено [6];
- запрашиваются значения таких признаков, что при получении некоторых значений такого признака множество гипотез о диагнозе может быть сокращено; при ранжировании таких признаков могут дополнительно учитываться априорные вероятности существования диагнозов-гипотез, а также вероятности появления различных значений этих признаков для них;
- запрашиваются значения нескольких признаков одновременно, если в результате их наблюдения могут быть получены такие комбинации их значений, при которых множество гипотез о диагнозе может быть сокращено, - «синергетические эффекты» [12].

В литературе иногда помимо значений признаков рассматриваются продолжительность присутствия тех или иных значений этих признаков (что решает проблему распознавания внутреннего процесса лишь частично).

Такие методы решения задачи запроса дополнительной информации для распознавания опираются на дополнительную информацию в БЗ.

Например, в БЗ вводятся связи между диагнозом и совокупным признаком (синдромом – в медицине), элементом которого может быть и событие. Иногда для элементов в этой совокупности требуется соблюдение частичного порядка: порядок появления признаков у объекта диагностики, чтобы событие предшествовало внешнему признаку, в том числе с указанным интервалом [12]. Другой пример дополнительной информации в БЗ: вводится классификация диагнозов, так что у классов диагнозов указываются (общие) признаки [3, 5], либо вводится иерархия стадий рассуждения специалиста [10, 12].

Используемые БЗ могут содержать любую совокупность предложений-утверждений, таких как:

- множество признаков с их необходимыми и возможными значениями для каждого диагноза;
- множество признаков с их значениями и события, которые характерны для каждого диагноза;

- множество признаков (с их значениями) с продолжительностью присутствия отдельных признаков или их совокупности;
- упорядоченное множество признаков (например, с указанием вероятности их проявления при данном диагнозе либо с использованием нечётких множеств [13]);
- общие признаки для группы (класса) диагнозов.

## 2 Метод ранжирования дифференциаторов

### 2.1 Постановка задачи запроса дополнительной информации для систем или объектов, у которых внутренние процессы развиваются во времени

Протекающие во времени процессы внутри различных систем или объектов часто связаны между собой посредством причинно-следственных отношений. В этом случае в условиях отношений могут присутствовать внешние факторы, внешние события, происходящие в различные моменты времени [9, 14, 15, 16], постоянные во времени признаки объекта диагностики, иногда называемые индивидуальными характеристиками, в следствиях отношений - признаки (с их значениями), проявляемые объектом диагностики. Например, при диагностике состояния сельскохозяйственных культур в качестве условия может выступать время, прошедшее после обработки растений пестицидами и гербицидами, при диагностике некоторого заболевания - перенесённые травмы и заболевания, приём лекарственных препаратов. Внешними факторами для таких объектов могут быть время года (сезон), температура воздуха, индивидуальные характеристики - возраст (растения, человека), пол.

В этом случае могут учитываться:

- промежуток времени, прошедший с момента начала развития диагностируемого внутреннего процесса, не присущего объекту (системе);
- влияние событий на значения признаков и их изменение во времени;
- влияние индивидуальных характеристик объекта (системы) на проявления этого внутреннего процесса.

Признаки, значения которых могут изменяться с течением времени (на протяжении периода диагностики), иногда называют *темпоральными* или динамическими.

Терминология ( $\Sigma$ ) таких ПрО, где рассматриваются протекающие во времени процессы, связанные между собой посредством причинно-следственных отношений, включает термины, интерпретациями которых являются значения, функциональные соответствия или отношения. Функции и отношения, являющиеся интерпретациями функциональных и предикатных символов, могут зависеть не только от времени (упорядоченное множество моментов которого обозначим  $\{t_0, \dots, t_k\}$ ), но и от координат пространства и других свойств ПрО.

*Онтология ПрО* состоит из  $\Sigma$  и множества предложений (аксиом) на языке  $\Sigma$ , представляющих те свойства терминов онтологии, которые определяются соглашениями [11, 17].

Обозначим распознаваемые внутренние процессы как  $F_{in}$  (множество функциональных символов, зависящих от времени, значения которых - состояния процесса); все признаки (значения которых могут меняться у объектов диагностики) -  $F_{ex}$ ; внешние факторы и события, которые могут иметь место, -  $F_{ev}$ ; признаки, значения которых наблюдались у объекта в разные моменты времени -  $R_{ex}(t_0, \dots, t_k)$ ; наблюдаемые индивидуальные характеристики *объекта* (системы) -  $R_O$ ; факторы и события, наблюдаемые в некоторые моменты времени -  $R_{ev}(t_u, \dots, t_v)$ . Обозначим диагнозы (внутренние процессы, не присущие *объекту*) как  $\Delta \subseteq F_{in}$ . Для причинно-следственного отношения удобно ввести предикатный символ ( $P_c$ ), аргументами которого являются *причины, воздействующие факторы* (необязательны), *следствия и время* (необязательно). Примечание: *воздействующие факторы* - индивидуальные характе-

ристики, а также те внешние факторы или события, которые не являются непосредственной причиной.

Определение онтологических соглашений вышеописанных ПрО осуществляется через функциональные соответствия или отношения вышеуказанных терминов. Постановка задачи запроса дополнительной информации, учитывающая вышеописанные свойства ПрО, такова.

Дано: БЗ, согласованная с онтологией ПрО, удовлетворяющая условию делимости классов-диагнозов; результаты наблюдения ситуации (индивидуальные характеристики, признаки *объекта*, внешние факторы и события)  $R = R_O \cup R_{ex}(t_0, \dots, t_k) \cup R_{ev}(t_u, \dots, t_v)$ , такие, что для них выдвинуто множество гипотез  $H_{R,KB} = \{\Delta_l, \dots, \Delta_m\}$ , имеющее мощность не меньше двух.

Найти: такой запрос дополнительной информации Q об *объекте* (или его ситуации) для результатов R, что для R, объединённого с ответом AQ на этот запрос, новое множество гипотез имеет меньшую мощность, чем множество гипотез  $H_{R,KB}$  (т.е. хотя бы одна причинно-следственная модель  $P_c(R, \Delta_j)$  перестанет быть истинной:  $\neg P_c(R \cup AQ, \Delta_j)$ ).

Здесь в БЗ входят предложения ( $A_\Sigma$ ) о свойствах ситуаций каждого класса  $\Delta_i$  из  $\Delta$ , среди которых в общем случае есть:

- варианты развития внутреннего процесса, связывающие диагноз  $\Delta_i$  с изменениями значений признака и зависящие от периода развития этого процесса (например, для диагноза «пневмококковый конъюнктивит» характерны признаки: покраснение глаз. Присутствие = «имеется». Локализация с вариантами динамики: = «справа, слева, справа И слева постоянно»; = «справа 1-2 суток, затем справа И слева»; = «слева 1-2 суток, затем справа И слева» [14]; для «отказа в навигационной системе» автономного подводного робота (АПР) характерны признаки с вариантами проявления (динамики):
  - несанкционированное выключение питания двигателя (питание двигателя = «выключено») ИЛИ
  - высокое энергопотребление со стороны движительно-рулевого комплекса (ДРК), характерного для модификации имеющегося ДРК, в течение промежутка времени, большего, чем требуется для преодоления препятствия в рамках миссии АПР [15];
- варианты развития (или появления) внутреннего процесса, связывающие значения некоторого события с диагнозом (например, при диагнозе «пневмококковый конъюнктивит» его возможные причины:
  - через 1-2 суток после начала предшествующего заболевания, такого как острая респираторная вирусная инфекция, грипп;
  - через 1-2 суток после загрязняющего воздействия окружающей среды, такого как: «попадание в глаз пыли», «купание в непроточном водоеме» [14];
 при диагнозе для АПР «зацепился за препятствие» характерно поступление совокупности сигналов (от соответствующих датчиков): «ошибка стабилизации скорости», «ошибка стабилизации по вертикальному каналу» и «ошибка стабилизации по горизонтальному каналу», а его Возможные причины – цепочка (последовательность) событий, предшествующая появлению указанных признаков:
  - «зависание» (в течение времени  $t > 5$  сек) на текущей глубине lev1 с заданием максимального заднего хода (в течение времени  $t > 3$  сек);
  - затем - попытка перейти и стабилизироваться на глубине lev2, на 2-3 метра меньшей, чем lev1,
  - затем – движение (переход) на программную высоту) [15];
- варианты развития внутреннего процесса, изменённого воздействием события, связывающие диагноз и событие с некоторым значением признака; например, «острый аппенди-

цит, перфоративная язва: обезболивающие таблетки приводят к временному устранению боли (что искажает клиническую картину)»;

- варианты развития внутреннего процесса при воздействии события (варианты реакции на воздействие события), связывающие значение некоторого события с некоторым значением или изменением значения признака [16] (например, «при щелчке по камертону ... испытуемый (пациент) должен сообщить, когда он перестанет ощущать вибрацию - в этот момент следует заметить показания шкалы (от 0 до 8); если значение показателя не превышает «5», то это подтверждает диагноз сенсорной невропатии).

При этом каждый из таких вариантов развития может содержать и связи со значениями воздействующих факторов (например, возрастных или гендерных индивидуальных характеристик или внешних факторов).

Искомый запрос дополнительной информации  $Q$  о значении темпорального признака может относиться не только к текущему моменту  $t_{\text{mom}}$  (моменту принятия решения о запросе дополнительной информации), но и к будущему моменту (в тех случаях, когда в тот момент развитие процесса будет иметь наиболее «показательные» внешние проявления); в редких случаях можно надеяться получить значение признака, которое было у объекта ранее (между  $t_0$  и  $t_{\text{mom}}$ ), а момент наблюдения некоторого запрашиваемого события  $t_u$  может предшествовать началу развития процесса.

## 2.2 Алгоритм ранжирования дифференциаторов по времени, влиянию событий и характеристикам системы

Для удобства решения задачи запроса дополнительной информации, направленного на сокращение множества гипотез о диагнозе, предлагается среди запрашиваемых признаков (названия которых обозначим  $f_{\text{ex}}\text{Name}_i$ , а значения -  $f_{\text{ex}}\text{Value}_i$ ) различать *дифференциаторы* множества рассматриваемых гипотез и *антидифференциаторы* (рассматриваемого множества). *Дифференциатор* – тот признак, каждое значение которого сокращает множество гипотез; *антидифференциатор* – такой признак, ни одно из значений которого не сокращает множество гипотез; «частичные» *дифференциаторы* - остальные признаки (которые могут быть ранжированы, например, по доле значений, которые сократят множество гипотез).

Для решения этой задачи с использованием знаний о внутренних процессах и влиянии на них внешних событий предлагаются следующие этапы алгоритма выявления среди известных измеряемых признаков дифференциаторов и «частичных» дифференциаторов.

### 2.2.1 Шаг 1. Предобработка БЗ и построение «рабочей» модели

Из БЗ KB выделить фрагмент KB', содержащий предложения о свойствах ситуаций (диагностируемого объекта) каждого класса (диагноза)  $\Delta_{ij}$  из множества гипотез  $H_{R,KB} = \{\Delta_{i1}, \dots, \Delta_{im}\}$ ; инвертировать фрагмент KB', т.е. построить «рабочую» модель признаков гипотез  $KB'^{\text{Inv}}$  как множество «троек» <признак, «характерные» значения, диагноз> и пар <причина, диагноз>, чтобы в модели рассматривать только подмножество признаков  $f_{\text{ex}} \in F_{\text{ex}}$ , факторов и событий  $f_{\text{ev}} \in F_{\text{ev}}$ , которые связаны с гипотезами из  $H_{R,KB}$ .

Пример построения «рабочей» модели признаков. Пусть KB' содержит для класса-диагноза «Дифтерийный конъюнктивит» следующие признаки:

выделение из глаз. Присутствие = «имеется»;

выделение из глаз. Локализация = «справа И слева»;

выделение из глаз. Характер начала = «острое»;

выделение из глаз. Характер отделяемого с возможными вариантами динамики: 1. мутное в виде хлопьев; 2. серозно-кровянистое 1-3 суток, затем гнойное.

Варианты причины возникновения процесса «Дифтерийный конъюнктивит» таковы:  
 через 2-6 суток после начала заболевания «дифтерия»;  
 через 2-4 суток после контакта с больным дифтерией.

Тогда  $KB^{Inv}$  будет содержать «тройки»:

<Выделение из глаз. Присутствие, «имеется», Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Характер начала, «острое», Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Локализация, «справа И слева»; Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Характер отделяемого, мутное в виде хлопьев»; Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Характер отделяемого, {«серозно-кровянистое» (1-3 суток); гнойное}, Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Периодичность, «постоянно», Дифтерийный конъюнктивит>;

и пары

<«Дифтерийный конъюнктивит» ( $t_{beg}$ ), (начало заболевание «дифтерия» ( $t_u$ ),  $t_{beg}$  через 2-6 суток после  $t_u$ )>;

<«Дифтерийный конъюнктивит» ( $t_{beg}$ ), (контакт с больным дифтерией( $t_u$ ),  $t_{beg}$  через 2-4 суток после  $t_u$ )>.

Для некоторых  $f_{ex}Name_i$  из  $KB'$  могут существовать варианты развития процесса, изменённого воздействием события, связывающие: (признак, диагноз, событие, временной интервал начала такого воздействия, результирующее значение признака) или (признак, исходное значение признака, событие, временной интервал начала такого воздействия, результирующее значение признака). Такие предложения должны быть добавлены в «рабочую» модель признаков  $KB^{Inv}$ .

### 2.2.2 Шаг 2. Исключение лишних признаков из «рабочей» модели признаков

Обозначим  $t_{mom}$  текущий момент - точку на *временной* оси (от начала наблюдений  $t_0$  либо от начала развития внутреннего процесса  $t_{beg}$ ), момент принятия решения о запросе дополнительной информации. В «рабочей» модели  $KB^{Inv}$  удалить (или пометить как «неактивные»):

- каждый признак  $f_{ex}Name_i$ , который является *статическим* и его значение  $f_{ex}Value_i$  уже присутствует в R;  
 (подразумевается удаление всех «троек» (признак =  $f_{ex}Name_i$ , «характерные» значения, диагноз);
- те признаки, у которых один из вариантов *динамики значений* определён не далее, чем до текущего момента и все его значения  $f_{ex-j}Value_i(t_1, \dots, t_{mom})$ , указывающие на этот вариант развития, уже присутствуют в R;
- те возможные факторы и события  $f_{ev}Name_w (\in F_{ev})$ , информация о существовании которых обычно имеет область возможных значений (ОВЗ) = {да, нет}, ОВЗ уже присутствует в R.

Пример удаления лишних «троек» из «рабочей» модели признаков.

Пусть  $t_{mom} = 12.04$ ;  $t_0 = 10.04$ ; R содержит:

выделение из глаз. Присутствие = «имеется»;

выделение из глаз. Локализация = «справа И слева»;

выделение из глаз. Характер начала = «острое»;

выделение из глаз. Характер отделяемого (12.04) = «серозно-кровянистое»;

выделение из глаз. Периодичность = «постоянно»;

контакт с больным дифтерией (8.04), ...

Это позволяет удалить из  $KB^{Inv}$  «тройки»:

<Выделение из глаз. Присутствие, «имеется», Дифтерийный конъюнктивит>;

<Выделение из глаз. Характер начала, «острое», Дифтерийный конъюнктивит>.

Оставшиеся в «рабочей» модели  $KB^{Inv}$  признаки считаются возможными дифференциаторами.

### 2.2.3 Шаг 3. Поиск и исключение антидифференциаторов

Искать в  $KB^{Inv}$  те признаки, у которых:

- «тройки» (признак, «характерные» значения, диагноз) присутствуют для каждого из  $m$  диагнозов  $\{\Delta_{i1}, \dots, \Delta_{im}\} = N_{R,KB}$ , т.е.  $m$  раз, при этом в каждой «тройке» одинаковы «характерные» значения:  
либо одно и то же множество вариантов значений (тот же диапазон значений, то же единственное значение) статического признака;  
либо с каждой гипотезой:  $\Delta_{i1}, \dots, \Delta_{im}$  связаны одинаковые варианты динамики значений признака;  
либо в  $R$  отсутствуют и не могут быть получены значения динамического признака до текущего момента  $t_{mom}$ , но начиная с «текущего момента» (точки на временной оси от начала развития внутреннего процесса), с каждой гипотезой:  $\Delta_{i1}, \dots, \Delta_{im}$  связаны одинаковое значение признака или одинаковый диапазон значений или одинаковые варианты динамики значений во все последующие моменты времени;
- те возможные события  $f_{ex}Name_w$  в момент  $t_v \leq t_0$ , которые присутствуют для каждого из  $m$  диагнозов  $\{\Delta_{i1}, \dots, \Delta_{im}\} = N_{R,KB}$ , считать антидифференциаторами. Их можно удалить из  $KB^{Inv}$  («рабочей» модели признаков).

Примечание. Если все признаки  $KB^{Inv}$  оказались антидифференциаторами, важно сигнализировать о неполноте БЗ и завершить работу (алгоритма). Если НЕ все признаки  $KB^{Inv}$  оказались антидифференциаторами, то в  $KB^{Inv}$  содержатся признаки, которые ещё не имеют значений (отсутствуют в  $R_{ex}(t_0, \dots, t_k)$ ).

### 2.2.4 Шаг 4. Поиск дифференциатора

Искать в  $KB^{Inv}$  признак  $f_{ex}Name_i$ , который для всех гипотез имеет разное значение из допустимого множества значений. Типичные поисковые запросы таковы.

А) Искать дифференциатор - статический признак с «качественными» значениями. Среди статических признаков  $\{f_{ex}Name_i\}$  (в  $KB^{Inv}$ ), имеющих в качестве ОВЗ множество значений, искать  $f_{ex}Name_i$ , который для всех  $m$  гипотез имеет разное значение (из этого допустимого множества значений  $\{f_{ex}Value_{ij}\}, j=1, n$ ).

Б) Искать дифференциатор - статический признак с диапазонами значений. Среди статических признаков  $\{f_{ex}Name_i\}$  (в  $KB^{Inv}$ ), имеющих в качестве ОВЗ один или совокупность числовых диапазонов, найти признак  $f_{ex}Name_i$ , который для всех гипотез имеет непересекающийся поддиапазон значений ( $minValue_j - maxValue_j$ ), т.е.  $minValue_{j+1} > maxValue_j$ ,  $minValue_j > maxValue_{j-1}$ .

В) Искать дифференциатор - динамический признак. Среди признаков  $\{f_{ex}Name_i\}$ , имеющих в любой момент (или период) времени в качестве ОВЗ множество значений, искать  $f_{ex}Name_i$ , который в некоторый момент  $t_v$  (или период  $\langle t_v, t_{v+1} \rangle$ ) времени,  $\geq$  «текущего» момента  $t_{mom}$ , для всех  $n$  гипотез имеет разное значение  $f_{ex}Value_i(t_v)$  из допустимого множества значений  $\{f_{ex}Value_{ij}\}$ .

Среди признаков  $\{f_{ex}Name_i\}$ , имеющих в любой момент (или период) времени в качестве ОВЗ числовые диапазоны, искать признак  $f_{ex}Name_i$ , который в некоторый момент  $t_v$  (или период  $\langle t_v, t_{v+1} \rangle$ ) времени,  $\geq$  «текущ. момента»  $t_{mom}$ , для каждой из  $n$  гипотез имеет такой поддиапазон значений ( $minValue_j - maxValue_j$ ),  $j=1, n$ , что множества таких  $n$  поддиапазонов не пересекаются.

Искать те возможные события  $f_{ev}Name_w$  ( $\in F_{ev}$ ), запрос  $Q$  о существовании (или значении) которых в момент  $t_v \leq t_0$  может иметь ответ (AQ) в «текущий момент»  $t_{mom}$  и этот ответ имеет разное значение для всех  $m$  гипотез-диагнозов.

Далее оценить дифференциатор, если он был найден. Ориентируясь на предложения <Признак, исходное значение признака, Событие, временной интервал начала такого воздействия, результирующее значение признака> в  $KB^{Inv}$ , понять является ли дифференциатор «подверженным влиянию». Таковым следует считать дифференциатор  $f_{ex}Name_i(t_v)$ , про который известно, что на его значение влияют события  $f_{ev}Name_w$  (например, приём внутрь лекарственных средств или других веществ) и известен временной интервал начала такого воздействия.

Если для каждого такого «подверженного влиянию» дифференциатора  $f_{ex}Name_i$  ответы (AQ) на запросы  $Q$  о таких событиях в моменты  $t_v \leq t_{mom}$  отсутствуют в  $R_{ex}(t_0, \dots, t_k)$ , то  $f_{ex}Name_i$  считать дифференциатором совместно с AQ и при выполнении условий: AQ = нет либо AQ = да, но  $f_{ex}Value_i(t_w)$  в  $t_w \geq t_{mom}$  даже с учётом влияния события имеет для всех гипотез разное значение (или поддиапазон значений) из ОВЗ.

Примечание. В рабочей модели  $KB^{Inv}$  описание связей признаков с диагнозами может быть сгруппировано по вариантам значений. Найти дифференциатор - значит найти  $f_{ex}Name_i$ , который для всех  $n$  гипотез имеет разное значение из допустимого множества значений  $\{f_{ex}Value_{ij}\}$ .

Если множество дифференциаторов =  $\emptyset$ , применить шаг 5. После шага 4 (Если множество дифференциаторов =  $\emptyset$ ) в  $KB^{Inv}$  содержатся «частичные» дифференциаторы, которые могут дифференцировать гипотезы, если ответом (AQ) станет «подходящее»/«дифференцирующее» (способное отвергнуть некоторую гипотезу) значение.

### 2.2.5 Шаг 5. Ранжирование частичных дифференциаторов

Используя  $KB^{Inv}$ , ранжирование признаков  $f_{ex}Name_i$  можно провести по доле значений, которые предположительно сократят множество гипотез (с какой вероятностью в ответе  $AQ_{\Sigma}$  окажется значение  $f_{ex}Value_{ij}$ , способное исключить  $k$  из  $n$  гипотез).

Ранжирование статических признаков с качественными значениями (признаки  $\{f_{ex}Name_i\}$ , имеющие ОВЗ множество «качественных» значений) таково: признаки  $\{f_{ex}Name_i\}$  (в  $KB^{Inv}$ ), имеющие ОВЗ множество «качественных» значений, связанные более, чем с одним диагнозом, упорядочить, например, по величине отношения числа разных значений  $f_{ex}Value_{ij}$  признака, связанных только с одним из этих диагнозов, к числу возможных значений. (Далее упорядочить аналогично признаки, у которых разные значения связаны только с двумя диагнозами (если их число в рабочей модели  $>2$ ) и т.д.).

Ранжирование статических признаков  $\{f_{ex}Name_i\}$ , имеющих ОВЗ множество числовых интервалов, таково: все такие признаки  $\{f_{ex}Name_i\}$ , связанные более, чем с одним диагнозом, упорядочить, например, по величине отношения длины интервала ( $f_{ex,max}Value_{ij} - f_{ex,min}Value_{ij}$ ), связанного только с одним из этих диагнозов, к длине ОВЗ ( $f_{ex,max}Value - f_{ex,min}Value$ ).

Если к шагу 5 в  $KB^{Inv}$  множество признаков  $\neq \emptyset$ , то хотя бы один частичный дифференциатор будет предложен (признак, значение которого, возможно, сократило множество гипотез).

Примечание. При наличии в рабочей модели  $KB^{Inv}$  признаков с динамическими значениями признаки в  $KB^{Inv}$  могут быть сгруппированы по их вариантам динамики; кроме того, в рабочей модели  $KB^{Inv}$  значения признаков могут быть сгруппированы по периодам динамики (которым сопоставлены диагнозы, при которых такой вариант возможен); кроме того,

рабочая модель KB<sup>Inv</sup> может быть организована по значениям признаков в разные подынтервалы периодов динамики.

## 2.3 Применение алгоритма

Представленный алгоритм выявления дифференциаторов среди известных признаков (в соответствии с постановкой задачи запроса) применяется многократно в процессе дифференциации. При наличии  $n$  гипотез о диагнозе обращение к алгоритму даст ответ на вопрос: «Какой признак запросить, чтобы ответ на него помог отвергнуть хотя бы одну гипотезу?». Если после работы алгоритма запрос признака привел к получению ответа (значение указанного признака в указанный момент времени), то этим ответом в соответствии с рекомендацией алгоритма может быть отвергнута указанная гипотеза либо, поскольку представление о ситуации уточняется, запускается процесс генерации нового множества гипотез, ожидаемо меньшего. В результате оказывается  $n' = n-1$  гипотез (или даже меньше). Если  $n' > 1$ , то необходимо очередное обращение к этому алгоритму. В идеале цикл обращений завершается, когда  $n' = 1$ .

## Заключение

При решении задач дифференциальной диагностики и некоторых других подклассов задачи распознавания [11] специалисты вынуждены решать задачу определения того, какой информации не хватает, чтобы уточнить множество решений или сократить его до единственного.

Предложенный алгоритм выявления дифференциаторов даёт возможность объективного определения того, какую информацию (с перечисленными особенностями) следует запросить, чтобы уточнить множество решений. Такой алгоритм применим для решения задачи запроса дополнительной информации при распознавании ситуаций в различных областях деятельности. Наличие такого алгоритма крайне важно при проектировании систем поддержки диагностических решений в ситуациях, не имеющих в начальный момент всей необходимой информации. При этом можно ожидать, что наличие в ПрО дополнительных знаний о зависимостях между внешними признаками развития процессов и нарушениями или развитием с отклонениями от нормы (уровни доказательности и убедительности) позволит упростить некоторые шаги этого алгоритма для конкретных ПрО.

## Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 15-07-03193, 17-07-00956).

## Список источников

- [1] **Ле, Н.В.** Модель представления знаний при создании медицинской экспертной системы дифференциальной диагностики / Н.В. Ле, В.А. Камаев, Д.П. Панченко, О.А. Трушкина // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2014. - № 6. - С. 42-50.
- [2] **Власов, А.И.,** Архитектура автоматизированной экспертной системы диагностики технического состояния турбогенераторов / А.И. Власов, Э.В. Манукянц, Э.В. Мысловский // Инженерный вестник: электронный научно-технический журнал. - 2012. - №9. – [http://iu4.ru/publ/2012\\_ing\\_vest\\_09\\_04.pdf](http://iu4.ru/publ/2012_ing_vest_09_04.pdf).
- [3] **Литвиненко, В.И.** Некоторые аспекты категорного представления информации в лечебно-диагностических системах / В.И. Литвиненко, Н.А. Соколова, А.П. Бень // Вестник ХГТУ. - 1997. - № 1. - С. 101 -104.



- [4] **Lemaire, J.B.** Effectiveness of the Quick Medical Reference as a diagnostic tool / J.B. Lemaire, J.P. Schaefer, L.A. Martin, et al. // CMAJ - 1999. - Vol. 161 (6). - P. 725-728.
- [5] **Miller, R.A.** INTERNIST-1: An Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine / R.A. Miller, H. Pople, J. Myers // N Engl J Med. - 1982. - Vol. 307. - P. 468-476.
- [6] **Patil, R.S.** Modelling Knowledge of the Patient in Acid-base and Electrolyte Disorders / R.S. Patil, P. Szolovits, W.B. Schwartz // in Szolovits, P. (Ed.). Artificial Intelligence in Medicine, - Boulder, CO: Westview Press, 1982. - P. 191-226.
- [7] **Pople, H.E.** Heuristic Methods for Imposing Structure on Ill-Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnostics / **H.E. Pople, Jr.** // in Szolovits, P. (Ed.) Artificial Intelligence in Medicine, - Boulder, CO: Westview Press, 1982. P. 119-185.
- [8] **Soltan, R.A.** Diagnosis of Some Diseases in Medicine via computerized Experts System / R.A. Soltan, M.Z. Rashad, B. El-Desouky // International Journal of Computer Science & Information Technology - 2013. - Vol. 5(5). - P. 79-90.
- [9] **Тельнов, Ю.Ф.** Интеллектуальные информационные системы / Ю.Ф. Тельнов. - М.: МЭСИ, 2004. - 246 с.
- [10] **Davis, R.** Production Rules as a Representation for a Knowledge Based Consultation Program / R. Davis, B.G. Buchanan, E.H. Shortliffe // Chapter 5 in Clancey, W.J. and Shortliffe E.H. (Ed.) Readings in Medical Artificial Intelligence: The First Decade, - Addison Wesley, Reading, MA, - 1984. - P. 98-130. - <http://people.dbmi.columbia.edu/~ehs7001/Clancey-Shortliffe-1984/Ch5.pdf>.
- [11] **Клещёв, А.С.** Онтология задач интеллектуальной деятельности / А.С. Клещёв, Е.А. Шалфеева // Онтология проектирования. - 2015. - Т. 5. №2(16). - С. 179-205. DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-2-179-205.
- [12] **Denekamp, Y.** TiMeDDx — A multi-phase anchor-based diagnostic decision-support model / Y. Denekamp, M. Peleg // Journal of Biomedical Informatics. - 2010. - Vol. 43. - P. 111-124.
- [13] **Кобринский, Б.А.** Консультативные интеллектуальные медицинские системы: классификации, принципы построения, эффективность / Б.А. Кобринский // Врач и информационные технологии. - 2008. - № 2. - С. 38-47.
- [14] **Черняховская, М.Ю.,** Формальное представление знаний о конъюнктивитах (издание второе, исправленное и дополненное) / М.Ю. Черняховская, Ф.М. Москаленко, В.Я. Мельников, В.И. Негода, Л.П. Догадова. - Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2009. - 56 с.
- [15] **Inzartsev, A.** Application of Artificial Intelligence Techniques for Fault Diagnostics of Autonomous Underwater Vehicles / A. Inzartsev, A. Pavin, A. Kleschev, V. Gribova, G. Eliseenko // Proc. of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition, (September 19-23, 2016, Monterey, California, USA), ISBN DVD: 978-1-5090-1538-2.
- [16] **Клещёв, А.С.** Модель онтологии предметной области «Медицинская диагностика». Часть 1. Неформальное описание и определение базовых терминов / А.С. Клещёв, М.Ю. Черняховская, Ф.М. Москаленко // Журнал НТИ - Серия 2. - 2005. - № 12. - С. 1-7.
- [17] **Боргест, Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н.М. Боргест // Онтология проектирования. - 2013. - № 3 (9). С. 9-31.
-

## THE METHOD OF SOLUTION OF THE PROBLEM OF ADDITIONAL INFORMATION REQUEST

A.S. Kleschev, V.V. Gribova, E.A. Shalfeeva

*Institute for Automation Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok, Russia*  
kleschev@dvo.ru, gribova@iacp.dvo.ru, shalf@iacp.dvo.ru

### Abstract

The article considers a problem of additional information request, usually being solved in diagnostics process for reduction of number of diagnosis hypotheses. In practice during solution of these two tasks it is important to consider all types of the cause-and-effect relations, variability of signs values for a time, influence of events on dynamics of values of signs. The offered algorithm of solution of this task is based on choosing differentiators among the known measurable signs. Identification of differentiators is made with use of knowledge of internal processes developing and external events' influence on them. We will apply such algorithm to the solution of a problem of request of additional information for situations recognition, classification and diagnostics in various spheres of activity.

**Key words:** domain ontology, diagnostics problem, set of hypotheses, additional information request problem, differentiating sign, task solution algorithm.

**Citation:** Kleshchev AS., Gribova VV., Shalfeeva EA. The method of solution of the problem of additional information request. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 310-322. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-310-322.

### References

- [1] **Le NV., Kamayev VA., Panchenko DP., Trushkina OA.** Model of representation of knowledge during creation of medical expert system of differential diagnostics. [In Russian]. *News of the Volgograd state technical university*, 2014; 6: 42-50.
- [2] **Vlasov AI., Manukyants EV., Myslovsky EV.** Architecture of the automated expert system of diagnostics of technical condition Turbogenerators [In Russian]. *Engineering messenger: online scientific and technical magazine*, 2012; 9: [http://iu4.ru/publ/2012\\_ing\\_vest\\_09\\_04.pdf](http://iu4.ru/publ/2012_ing_vest_09_04.pdf).
- [3] **Litvinenko VI., Sokolova HA., Ben AP.** Some aspects of category submission of information in medical and diagnostic systems [In Russian]. *HGTU bulletin*, 1997; 1: 101-104.
- [4] **Lemaire JB., Schaefer JP., Martin LA., et al.** Effectiveness of the Quick Medical Reference as a diagnostic tool *CMAJ*; 1999. 161 (6): 725-728.
- [5] **Miller RA., Pople H., and Myers J.** INTERNIST-1: An Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine. *N Engl J Med.*; 1982. 307: 468-476.
- [6] **Patil RS., Szolovits P., Schwartz WB.** Modelling Knowledge of the Patient in Aced-base and Electrolyte Disorders. In Szolovits, P. (Ed.) *Artificial Intelligence in Medicine*, - Boulder, CO: Westview Press; 1982: 191-226.
- [7] **Pople HE., Jr.** Heuristic Methods for Imposing Structure on Ill-Structured Problems: The Structuring of Medical Diagnostics. In Szolovits, P. (Ed.) *Artificial Intelligence in Medicine*, - Boulder, CO: Westview Press; 1982: 119-185.
- [8] **Soltan RA., Rashad MZ., El-Desouky B.** Diagnosis of Some Diseases in Medicine via computerized Experts System. *International Journal of Computer Science & Information Technology*; 2013. 5(5): 79-90.
- [9] **Telnov YF.** Intellectual information systems. [In Russian]. Moscow: MESI, 2004.
- [10] **Davis R., Buchanan BG., Shortliffe EH.** Production Rules as a Representation for a Knowledge Based Consultation Program. Chapter 5 in Clancey W.J. and Shortliffe E.H. (Ed.) *Readings in Medical Artificial Intelligence: The First Decade*. Addison Wesley, Reading, MA, 1984: 98-130: <http://people.dbmi.columbia.edu/~ehs7001/Clancey-Shortliffe-1984/Ch5.pdf>.
- [11] **Kleshchev AS., Shalfeeva EA.** Ontology of problems of intellectual activity [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2015; 5(2): 179-205. DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-2-179-205.
- [12] **Denekamp Y., Peleg M.** TiMeDDx — A multi-phase anchor-based diagnostic decision-support model. *Journal of Biomedical Informatics*, 2010; 43: 111-124.

- [13] **Kobrinsky BA.** Advisory intellectual medical systems: classifications, principles of construction. [In Russian]. Doctor and information technologies, 2008; 2: 38-47.
- [14] **Chernyakhovskaya MYu., Moskalenko FM., Melnikov VYa., Negoda VI., Dogadova LP.** Formal representation of knowledge of conjunctivitis (the edition second corrected and added) [In Russian]. Vladivostok: IAPU FEB RAS, 2009.
- [15] **Inzartsev A., Pavin A., Kleshev A., Gribova V., Eliseenko G.** Application of Artificial Intelligence Techniques for Fault Diagnostics of Autonomous Underwater Vehicles // Proceedings of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Conference & Exhibition (Monterey, California, USA, September 19-23, 2016), ISBN DVD: 978-1-5090-1538-2.
- [16] **Kleshchev AS., Chernyakhovskaya MYu., Moskalenko FM.** Model of ontology of subject domain "Medical diagnostics". Part 1. Informal description and definition of basic terms. [In Russian]. NTI. A Series 2, 2005; 12: 1-7.
- [17] **Borgest NM.** Keywords of ontology of designing: review, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of Designing*, 2013, № 3(9): 9-31.

### Сведения об авторах



**Клещев Александр Сергеевич**, 1940 г. рождения. Окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1964 г., д.ф.-м.н. (1990). Главный научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ. В списке научных трудов более 300 работ в области искусственного интеллекта, информатики, медицинской и биологической кибернетики.

**Alexander Sergeevich Kleshev** (b. 1940) graduated from the Leningrad State University in 1964, Professor's degree (1990). He is Chief Researcher at lab. of intellectual systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS. He is co-author of more than 300 publications in the fields of biological and medical cybernetics, informatics and AI.



**Грибова Валерия Викторовна**, 1965 г. рождения. Окончила Ленинградский политехнический институт по специальности "прикладная математика" (1989), д.т.н. (2007). Заведующая лабораторией интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, заместитель директора по научной работе, вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 200 работ в области искусственного интеллекта, проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях, специализированных программных моделей и систем.

**Valeriya Victorovna Gribova** (b.1965) graduated from the Leningrad Polytechnic University in 1989, Professor's degree (2007). She is a Head of lab. of intellectual systems in the Institute for

Automation & Control Processes of the FEB RAS, Research Deputy Director, an expert of Analytic Center in Government of Russian Federation, a Vice-President of Russian Association of Artificial Intelligence. She is co-author of more than 200 publications in the fields of AI, informatics, Program models, technologies and systems.



**Шалфеева Елена Арефьевна**, 1967 г. рождения. Окончила математический факультет Дальневосточного государственного университета по специальности "прикладная математика" (1989), к.т.н. (2000). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, доцент по специальности. В списке научных трудов более 80 работ.

**Elena Arefyevna Shalfeeva** (b.1967) graduated from the Far Eastern State University (Vladivostok) in 1989, PhD (2000). She is Senior Researcher at lab. of intellectual systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, lecture. She is co-author of more than 80 publications in the fields of Program models and systems and AI.

УДК 004.62

## ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ РАЗНОРОДНЫХ ПО СТРУКТУРЕ И ТЕМАТИКЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ЕДИНУЮ РЕГИОНАЛЬНУЮ БАЗУ ДАННЫХ

С.В. Павлов<sup>1</sup>, О.А. Ефремова<sup>2</sup>

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

<sup>1</sup>psvgis@mail.ru, <sup>2</sup>efremova-oa@yandex.ru

### Аннотация

Статья посвящена решению задачи интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных для организации информационной поддержки принятия решений по управлению крупным промышленным регионом. Для осуществления такого рода интеграции на семантическом уровне авторами предложена онтологическая модель, позволяющая описать с единых методологических позиций структуру разнородных баз пространственных данных, выделив в их составе онтологии пространственных, атрибутивных и метаданных. Разработан алгоритм построения и встраивания онтологии в программное обеспечение интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных. Апробация разработанного алгоритма осуществлена на примере создания единой региональной базы пространственных данных в составе Геоинформационной системы органов исполнительной власти Республики Башкортостан.

**Ключевые слова:** онтология, пространственные данные, базы данных, интеграция, промышленный регион, принятие решений.

**Цитирование:** Павлов, С.В. Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных / С.В. Павлов, О.А. Ефремова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С.323-333. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.

### Введение

В процессе принятия решений по управлению крупным промышленным регионом огромную роль играет вопрос наличия и своевременного предоставления пространственной информации о территории региона (карт территории различных масштабов, снимков из космоса, ортофотопланов), о промышленных и других объектах, расположенных на его территории. На сегодняшний день, как в органах исполнительной власти, так и на предприятиях, существует множество различных источников пространственной информации [1]. В качестве основных особенностей данных источников необходимо отметить их неоднородность и динамическую пополняемость. Для организации информационной поддержки принятия решений по управлению крупным промышленным регионом необходимо объединить данные из разных источников в единую региональную базу данных (БД).

Часть источников представляет собой структурированные данные (реляционные или объектно-ориентированные БД), часть - неструктурированные данные (тексты, документы и др., содержащие в своём составе пространственные данные), а часть являются квазиструктурированными (например, различного вида отчёты и атласы).

Широкие возможности для создания интегрированных БД предоставляют современные семантически ориентированные технологии, одной из наиболее перспективных является технология представления знаний в виде онтологий [2-5].

## 1 Онтологическая модель процесса интеграции пространственных баз данных

Онтологическая модель интегрированной пространственной БД представляет собой совокупность онтологических моделей отдельных информационных систем, пространственных БД, текстов документов, отчетов и атласов, т.е. онтологий отдельных источников пространственной информации (см. рисунок 1).

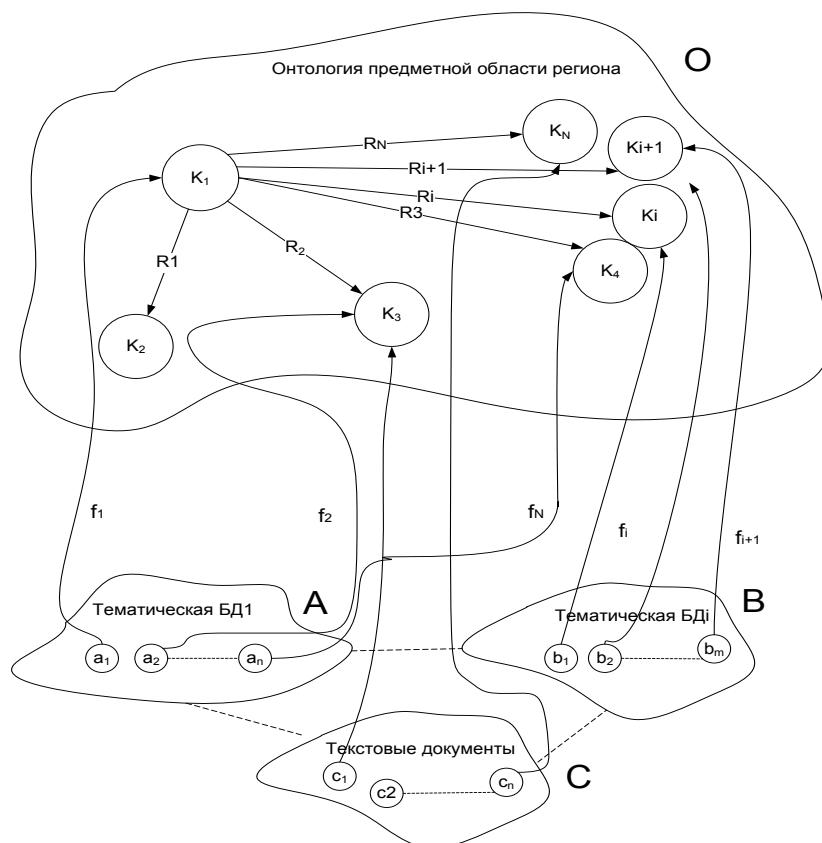


Рисунок 1 – Онтологическая модель интеграции пространственных баз данных

Интегрирующую онтологическую модель пространственных данных  $O$  можно представить в виде следующей совокупности объектов:

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

где  $K = \{K_1, \dots, K_n\}$  – множество концептов или терминов (понятий) предметной области;

$R = \{R_1, \dots, R_n\}$  – множество отношений между концептами;

$F = \{f_1, \dots, f_i\}$  – множество функций отображения множества концептов отдельных источников пространственных данных во множество концептов единой онтологической модели рассматриваемой предметной области. Необходимо отметить, что функция  $F$  не является биективной, так как одному концепту результирующей онтологической модели  $K_i$ , может соответствовать некоторое множество концептов онтологических моделей источников пространственных данных;

$T = \{T_1, \dots, T_2\}$  – множество типов данных;

$I = \{I_1, \dots, I_l\}$  – множество источников пространственных данных.

$$F : A \rightarrow O, F : B \rightarrow O, F : C \rightarrow O,$$

где  $A = \{A_1, \dots, A_j\}$  – множество концептов предметной области  $A$ ;

$B = \{B_1, \dots, B_r\}$  - множество концептов предметной области В;  
 $C = \{C_1, \dots, C_f\}$  - множество концептов предметной области С.

Важной особенностью пространственных БД является то, что в их состав входят три типа данных – пространственные, атрибутивные и метаданные, соответственно онтологическая модель отдельного i-го источника пространственных данных – пространственных БД – может быть представлена в следующем виде:

$$(2) \quad M_{БД_i}^O = \langle O^M, O^{ПД}, O^{АД} \rangle,$$

где  $O^M$  – онтология метаданных;  
 $O^{ПД}$  – онтология пространственных данных;  
 $O^{АД}$  – онтология атрибутивных данных.

Онтология метаданных – это онтология верхнего уровня, которая содержит базовые понятия и отношения между ними, используемые в дальнейшем при построении онтологий пространственных и атрибутивных данных.

Онтология метаданных (см. рисунок 2) может быть представлена следующим соотношением:

$$(3) \quad O^M = \{K^M, R^M, S^M\},$$

где  $K^M = \{K_1^M, \dots, K_s^M\}$  – множество концептов метаданных;  
 $R^M = \{R_1^M, \dots, R_w^M\}$  – множество отношений между концептами метаданных;  
 $S^M = \{S_1^M, \dots, S_m^M\}$  – множество свойств классов метаданных.

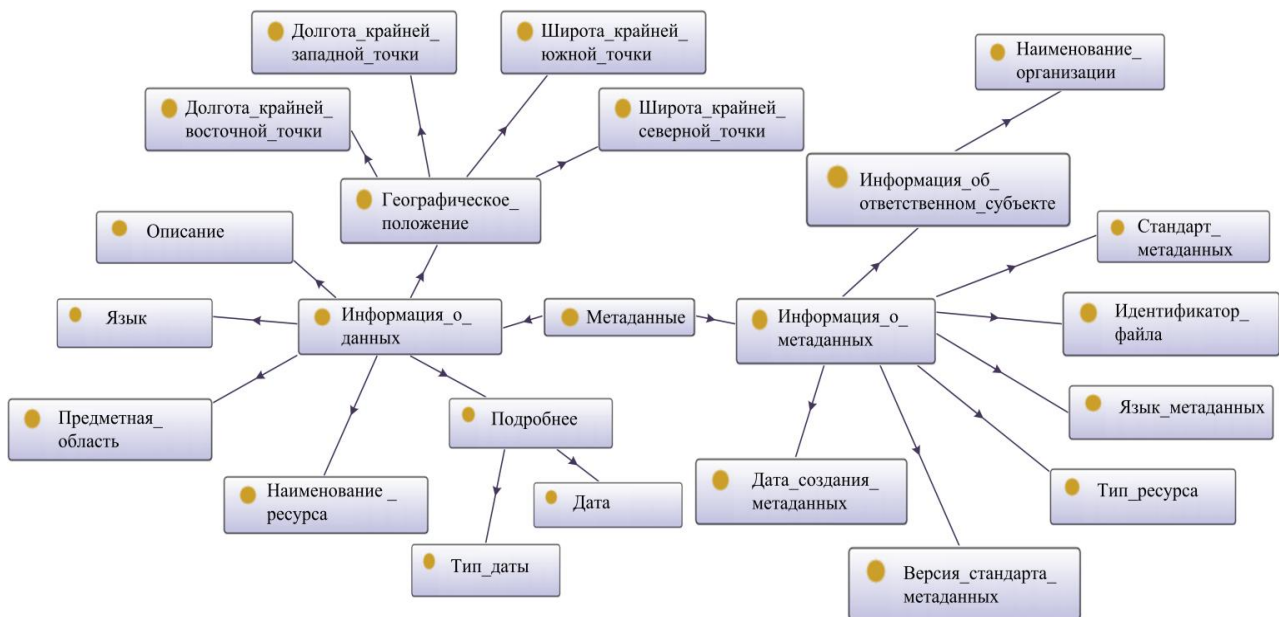


Рисунок 2 – Онтология метаданных базы пространственных данных

Онтология пространственных данных содержит описание основных типов пространственных объектов, их свойств, связей между ними, а также описание свойств используемой топологии. Пример онтологической модели пространственных данных представлен на рисунке 3. Онтология пространственных данных может быть представлена в следующем виде:

$$(4) \quad O^{ПД} = \{K^{ПД}, R^{ПД}, S^{ПД}\}$$

где  $K^{ПД} = \{K_1^{ПД}, \dots, K_s^{ПД}\}$  – множество концептов пространственных данных;

$R^{ПД} = \{R_1^{ПД}, \dots, R_w^{ПД}\}$  – множество отношений между концептами пространственных данных;

$S^{ПД} = \{S_1^{ПД}, \dots, S_m^{ПД}\}$  – множество свойств классов пространственных данных.

Для всех трёх типов пространственных данных, исходя из того, что для пространственных объектов характерны свои виды отношений [4, 5], множество  $R$  можно представить в виде:

$$(5) \quad R^{ПД} = \{L, V, N, D, Y, Z\},$$

где  $L$  – отношение «*Касается*» (часть объекта из класса пространственных объектов 1 соприкасается с границей объекта из класса пространственных объектов 2, внутренние части объектов не пересекаются);

$V$  – отношение «*Содержит*» (объект из класса пространственных объектов 1 полностью включает в себя объект из класса пространственных объектов 2);

$N$  – отношение «*Пересекает*» (любая часть объекта из класса пространственных объектов 1 соприкасается с любой частью объекта из класса пространственных объектов 2);

$D$  – отношение «*Внутри*» (объект из класса пространственных объектов 2 полностью включает в себя объект из класса пространственных объектов 1);

$Y$  – отношение «*Пересекает*» (внутренняя часть объекта из класса пространственных объектов 1 в какой-либо точке соприкасается с внутренней частью или границей (в случае с полигоном) объекта из класса пространственных объектов 2);

$Z$  – отношение «*Перекрывает*» (внутренняя часть объекта из класса пространственных объектов 1 частично перекрывает объект из класса пространственных объектов 2, сравниваться могут только объекты с одинаковой геометрией).

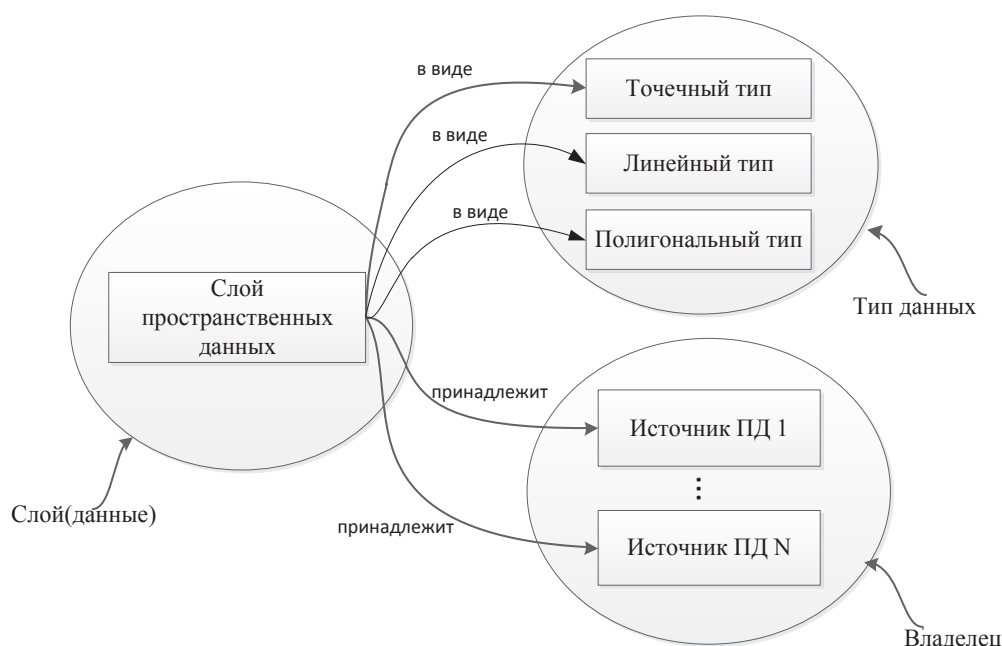


Рисунок 3 – Пример онтологической модели пространственных данных

Онтология атрибутивных данных содержит описание основных объектов, их свойств, связей между ними. Онтологию атрибутивных данных предлагается представить следующим соотношением:

$$(6) \quad O^{АД} = \{K^{АД}, R^{АД}, S^{АД}\},$$

где  $K^{AD} = \{K_1^{AD}, \dots, K_s^{AD}\}$  – множество концептов атрибутивных данных;

$R^{AD} = \{R_1^{AD}, \dots, R_w^{AD}\}$  – множество отношений между концептами атрибутивных данных.

$S^{AD} = \{S_1^{AD}, \dots, S_m^{AD}\}$  – множество свойств классов атрибутивных данных.

Для атрибутивных данных могут быть выделены следующие виды отношений из множества  $R$ :

$$(7) \quad R^{AD} = \{P, H\},$$

где  $P$  – множество парадигматических отношений: причинно-следственные, отношения обобщения и агрегации;

$H$  – синтагматические отношения, заданные дескриптивной логикой.

## 2 Алгоритм построения и встраивания онтологии в программное обеспечение для интеграции пространственных баз данных

Круг применения онтологий в программном обеспечении (ПО) различного назначения довольно широк [6-9]. Однако вопросам построения и внедрения онтологии в ПО для интеграции пространственных БД уделено недостаточно внимания.

В большинстве случаев современные онтологии строятся одинаково [6,10,11]. Так, в первую очередь определяются область и масштабы создаваемой онтологии и перечисляются важные термины и базовые понятия в онтологии. Затем осуществляется определение классов и отношений между ними, свойств классов и наложение ограничений на их значения. Заключительным этапом является создание отдельных экземпляров или индивидов классов и придание значений атрибутам и свойствам. (см. рисунок 4).

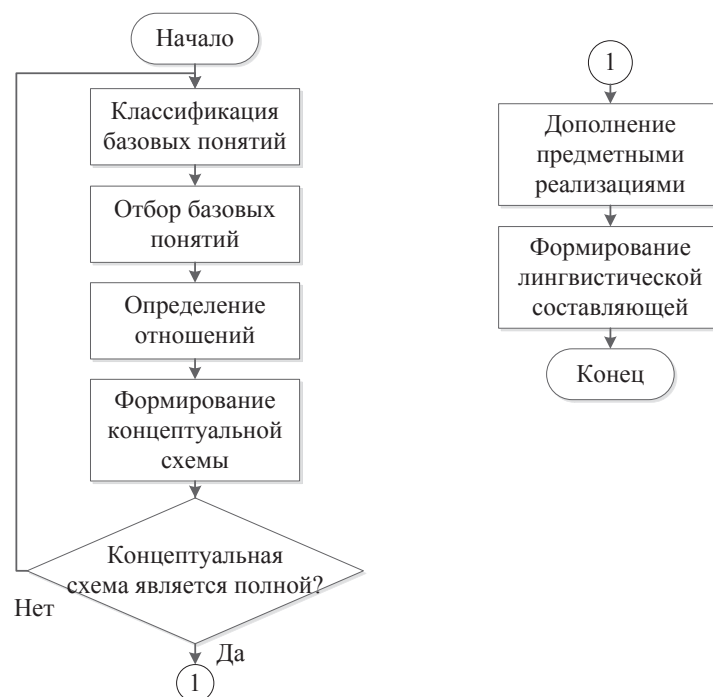


Рисунок 4 – Алгоритм построения онтологии

Для решения задачи интеграции разрозненных пространственных БД и организации поиска пространственных данных из различных источников необходимо включить процесс создания онтологии в процедуру разработки ПО. Для этого необходимо выполнить следующие этапы.



- 1) организовать обработку пространственных данных в составе БД с учётом требований для обеспечения организации интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению регионом.
- 2) создать и дополнить онтологию пространственных данных, проверить на достаточность, корректность и непротиворечивость данных.
- 3) разработать типовые сценарии обработки пространственных данных в текущей онтологии пространственных данных.

Алгоритм построения и встраивания онтологии в ПО для интеграции пространственных БД представлен на рисунке 5.

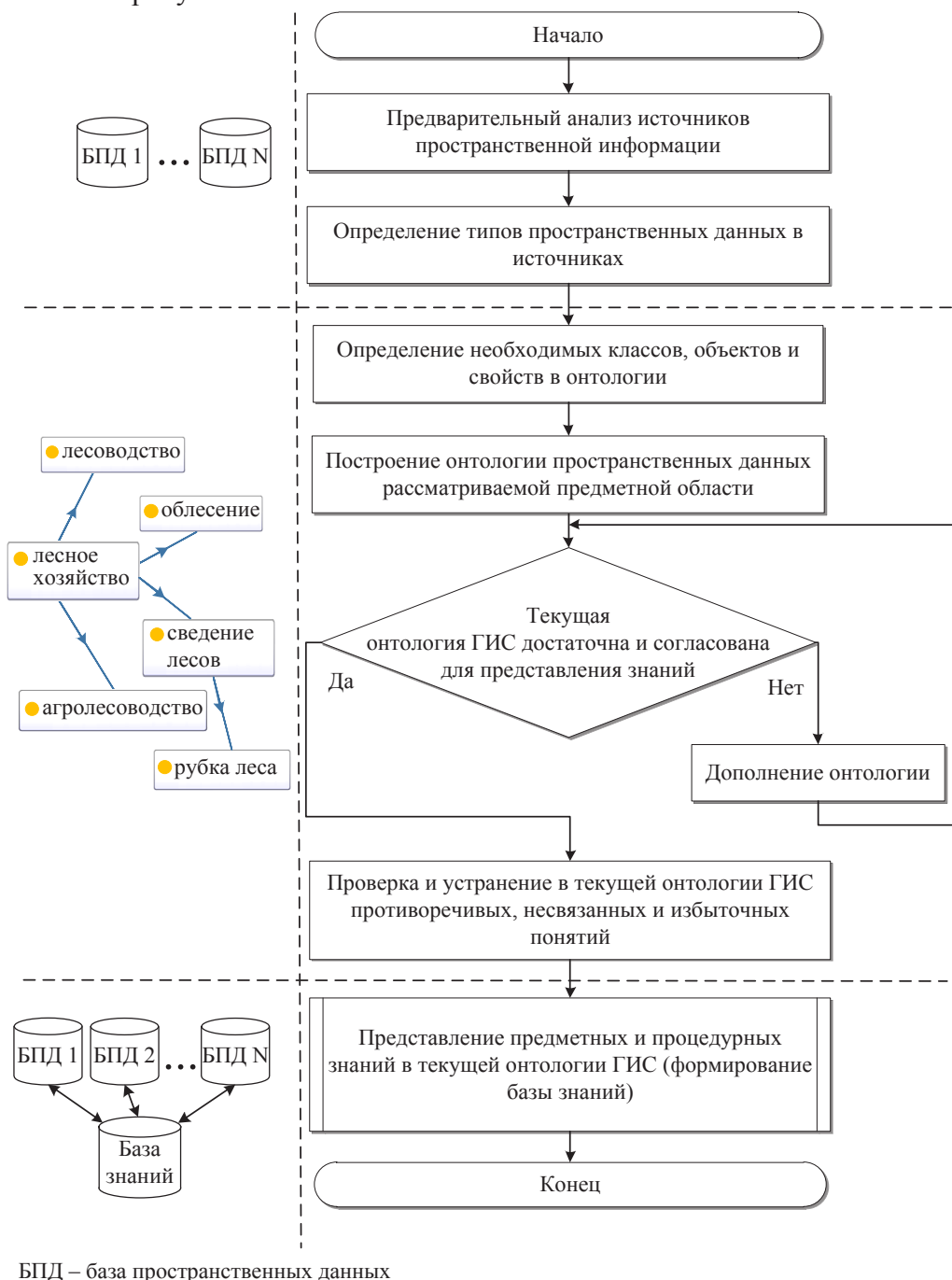


Рисунок 5 – Алгоритм интеллектуализации ГИС на основе онтологии

Применение данного алгоритма при разработке ПО позволяет обеспечить интеграцию пространственных данных из различных источников, а также повысить качество результатов запросов и упростить поиск интересующей пространственной информации.

### **3 Пример интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных с использованием онтологической модели**

Одним из примеров реализации онтологической модели интеграции пространственных БД и алгоритма её встраивания в ПО для интеграции пространственных БД является Геоинформационная система органов исполнительной власти республики Башкортостан (ГИС ОИВ РБ). Основной целью создания данной системы является обеспечение органов исполнительной власти республики актуальной, достоверной и комплексной геопространственной информацией для оперативного исследования, оценки и обоснования управленческих решений. Для интеграции пространственных БД различных органов исполнительной власти в единую региональную БД была разработана онтологическая модель, на основе которой был разработан каталог ресурсов системы, позволяющий осуществить интеграцию разрозненных пространственных БД [5]. Логическая структура ГИС ОИВ РБ представлена на рисунке 6.

Пример интеграции в ГИС ОИВ РБ пространственных БД двух органов исполнительной власти - Министерства связи и массовых коммуникаций и Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан представлен на рисунке 7. Результаты интеграции пространственных БД этих двух ведомств позволяют выявить места размещения базовых станций операторов сотовой связи, расположенные на территории особо охраняемых природных территорий, а также организовать поддержку принятия решений по размещению объектов связи на территории республики.

### **Заключение**

Предложенная онтологическая модель интеграции разрозненных по структуре и тематике БД позволяет описать с единых позиций структуру разнородных пространственных БД и тем самым обеспечить возможность их дальнейшей интеграции в единую региональную базу. Использование данной модели на практике позволяет снизить затраты за счёт отсутствия необходимости в постоянных корректировках программ, моделей данных, разработки различных конвертеров, а также дублирования информации в различных информационных системах.

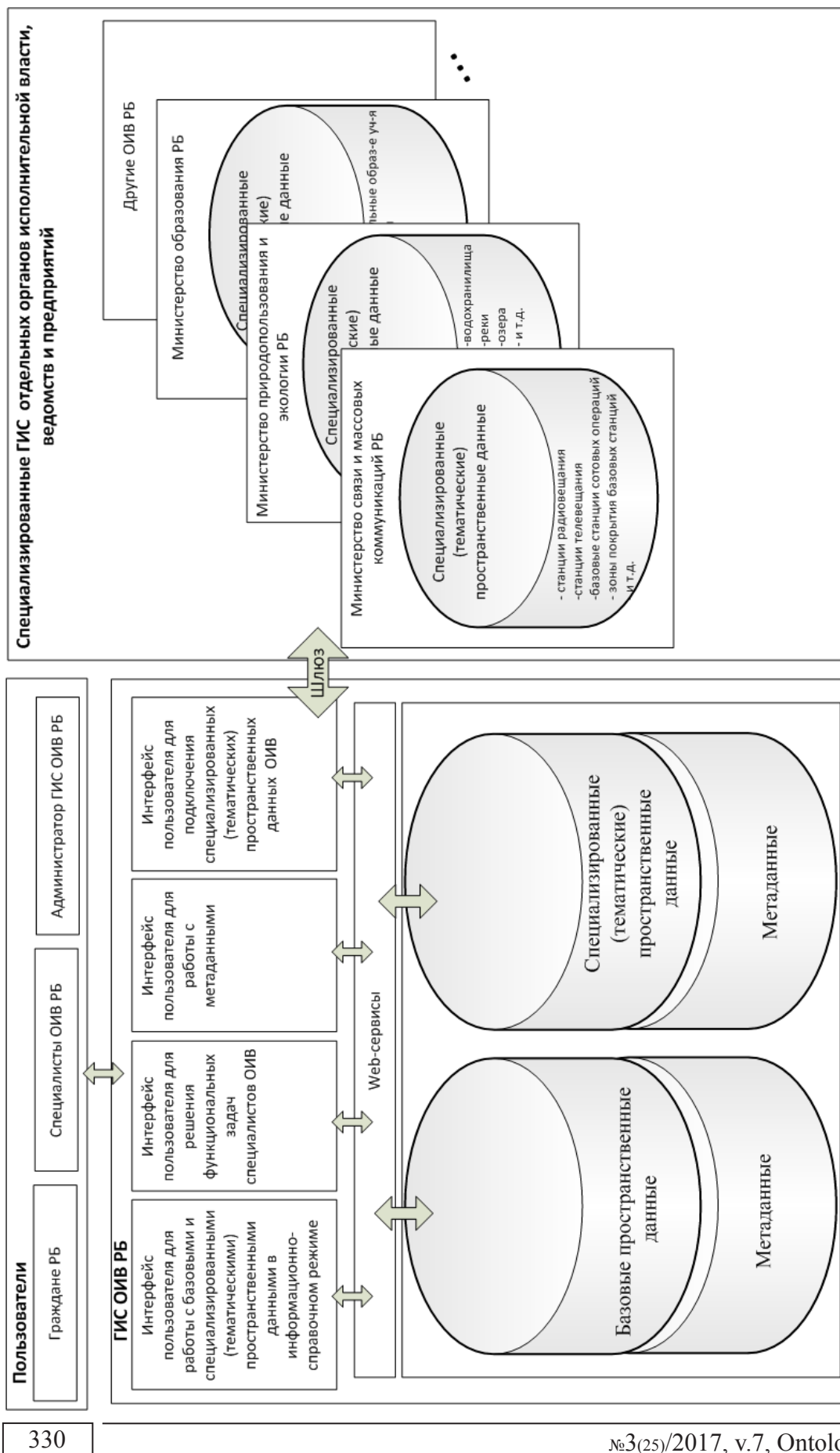


Рисунок 6 – Логическая структура ГИС ОИВ РБ

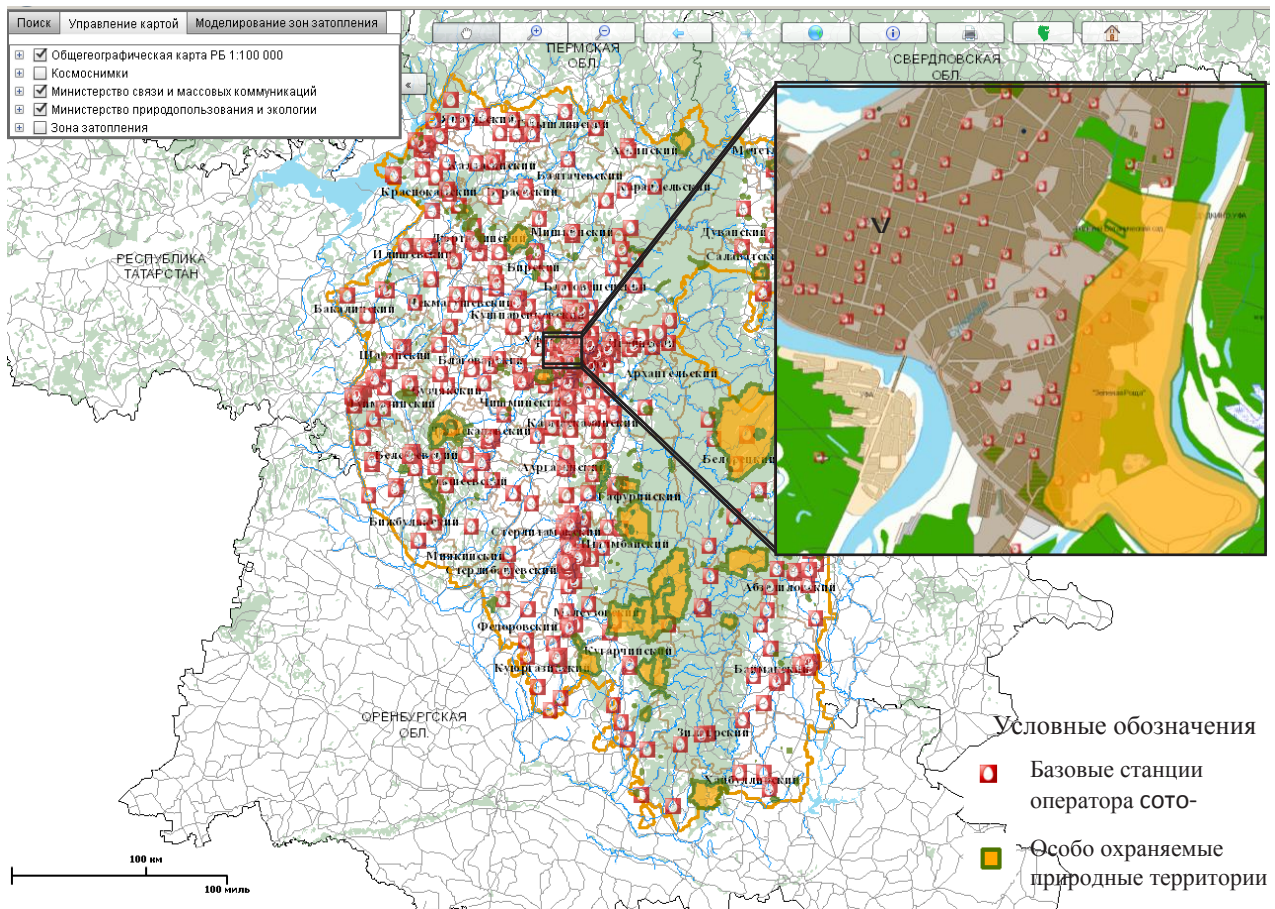


Рисунок 7 – Пример интеграции пространственных баз данных двух органов исполнительной власти

### Список источников

- [1] Павлов, С.В. Интеграция пространственной информации в геоинформационной системе органов исполнительной власти на основе сервис-ориентированной архитектуры / С.В. Павлов, О.А. Ефремова, И.У. Ямапов // Вестник УГАТУ - 2013. Т. 17, №.5(58). - С. 129-139.
- [2] Смирнов, А.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1) / А.В. Смирнов, М.П. Пашкин, Н.Г. Шилов, Т.В. Левашова // Новости искусственного интеллекта, № 1 (49) 2002. - С.3-13.
- [3] Кучуганов, М.В. Синтез схем баз данных на основе онтологии / М.В. Кучуганов // Онтология проектирования. - 2016. - Т. 6, №4(22). - С. 475-484. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-475-484.
- [4] Ефремова, О.А. Применение системного подхода к анализу проблемы использования пространственной информации для поддержки принятия решений региональными органами исполнительной власти. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». №2, 2014. <http://www.ivdon.ru/magazine>
- [5] Ефремова, О.А. Применение метода фасетной классификации для организации каталога метаданных в составе Геоинформационной системы органов исполнительной власти Республики Башкортостан / О.А. Ефремова, Р.А. Кравченко // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 5; - <http://www.science-education.ru/119-14524>.
- [6] *Ontology Summit 2013 Communique. Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle. Current Version is: v1.0.4 - 2013.05.31* [http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2013\\_Communique](http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2013_Communique). Коммюнике Онтологического саммита 2013. Оценка онтологий в течение всего жизненного цикла. Перевод с англ. Онтология проектирования. - 2013. - №2. - С. 66-74.
- [7] Виттих, В.А. Организация сложных систем. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. - 66 с.
- [8] Лапшин, В. А. Онтологии в компьютерных системах. — М.: Научный мир, 2010.

- [9] **Боргест, Н.М.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин. // Онтология проектирования. - №2(8), 2013. - С.49-55.
- [10] **Гвоздев, В.Е.** Предупреждение дефектов на ранних стадиях проектирования аппаратно-программных комплексов на основе положений теории интересубъективного управления / В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, Л.Р. Черняховская // Онтология проектирования. - 2016. - Т.6, №4(22). - С.452-464.- DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-452-464.
- [11] **Ризванов, Д.А.** Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода / Д.А. Ризванов, Н.И. Юсупова // Онтология проектирования. - 2015.- Т.5, №3(17). - С.297-312.- DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [12] **Смирнов, С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. - 2012.- №2. - С.16-24.

## ONTOLOGICAL MODEL FOR INTEGRATION OF STRUCTURALLY HETEROGENEOUS SPATIAL DATABASES OF VARIOUS SUBJECT AREAS INTO A UNIFORM REGIONAL DATABASE

S.V. Pavlov<sup>1</sup>, O. A. Efremova<sup>2</sup>

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

<sup>1</sup>psvgis@mail.ru, <sup>2</sup>efremova-Oa@yandex.ru

### Abstract

Article is devoted to a solution of the problem of integration of spatial databases into the uniform regional database for the organization of information support of decision-making for management of a large industrial region. The authors propose an ontological model for semantic-level integration that would allow description of structure of heterogeneous spatial databases within a single methodological framework highlighting in their composition the ontologies of spatial, attributive and metadata, and thereby ensuring the possibility of their further integration into a single regional database. Within the framework of the proposed ontological model, an algorithm for constructing and integrating ontologies into the software for integrating spatial and spatial databases that are heterogeneous in structure and subject has been developed. Approbation of the developed algorithm is carried out on the example of creating a single regional database of spatial data in the Geoinformation System of the Republic of Bashkortostan's administration.

**Key words:** ontology, spatial data, databases, integration, industrial region, decision-making.

**Citation:** Pavlov SV, Efremova OA. Ontological model for integration of structurally heterogeneous spatial databases of various subject areas into a uniform regional database. *Ontology of designing*. 2017; 7(3): 323-333. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.

### References

- [1] **Pavlov SV., Efremova OA., Yamalov IU.** Integration of spatial information in a geographic information system of executive agencies on a basis service - the oriented architecture [In Russian]. UGATU bulletin: scientific log of the Ufa State Aviation Technical University. 2013. V. 17, No.5(58): 129-139.
- [2] **Smirnov AV., Pashkin MP., Shilov NG., Levashova TV.** Ontologies in systems of an artificial intelligence: methods of creation and organization (part 1) [In Russian]. News of an artificial intelligence. 2002; No.1(49): 3-13.
- [3] **Kuchuganov MV.** Synthesis database schemas based on ontology [In Russian]. *Ontology of designing*. 2016; 6(4): 475-484. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-475-484.
- [4] **Efremova OA.** The Application of a systematic approach to the analysis of the problem of use of spatial information to support decision-making by executive agencies [In Russian]. The electronic scientific journal "Engineering journal of Don". No. 2, 2014. - <http://www.ivdon.EN/ru/magazine>.
- [5] **Efremova OA., Kravchenko RA.** The application of the method of faceted classification for the organization of the metadata catalog in the composition of the geographic information system of the executive agencies of the Republic of Bashkortostan [In Russian]. The Modern problems of science and education. 2014; No.5; - <http://www.science-education.ru/119-14524>.
- [6] **Ontology Summit 2013 Communique. Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle.** - [http://ontology.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2013\\_Communique](http://ontology.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologySummit2013_Communique).

- [7] *Vitikh VA.* Organization of complex-systems [In Russian]. - Samara: Scientific Center of RAS, 2010. – 66 p.
- [8] *Lapshin VA.* Ontologies in computer systems [In Russian]. - M.: Scientific world, 2010.
- [9] *Borgest NM., Korovin MD.* Ontologies: current status, an overview [In Russian]. *Ontology of designing.* 2013; No.2(8): 49-55.
- [10] *Gvozdev VE., Blinova DV., Chernyakhovsk LR.* Hardware-software complexes on the basis of the positions of the theory of intersubjective management [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2016; 6(4): 452-464. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-452-464.
- [11] *Rizvanov DA., Yusupova NI.* Intelligent decision support for resource management of complex systems based on multi-agent approach [In Russian]. *Ontology of designing.* 2015; 5(3): 297-312. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-297-312.
- [12] *Smirnov SV.* Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of designing.* 2012; No.2(4): 16-24.

### Сведения об авторах



**Павлов Сергей Владимирович**, 1955 г.р. Окончил Башкирский государственный университет по специальности вычислительная математика (1977). Заведующий кафедрой геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан. Проводит исследования в области системного анализа, информационных систем, разработки многомерных моделей данных, интеграции разрозненных баз данных, геоинформационных систем.

**Sergey Vladimirovich Pavlov** (b. 1955) graduated from the Bashkir state University majoring in Computational Mathematics (1977). Head of Department of geoinformation systems of Ufa State Aviation Technical University. Doctor of Technical Sciences, professor. Conducts research in the areas of systems analysis, information systems design, multidimensional data

models, integrating disparate databases, geographic information systems.



**Ефремова Оксана Александровна**, 1977 г.р. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ) по специальности автоматизированные системы обработки информации и управления (1999). Заместитель зав. кафедрой геоинформационных систем по научной и инновационной деятельности УГАТУ. Доцент, кандидат технических наук. Область научных интересов: системный анализ, разработка информационных систем в сфере организации общественной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, разработка многомерных моделей данных, геоинформационные системы.

**Oksana Alexandrovna Efremova** (b. 1977) graduated from the Ufa state aviation technical University on a speciality "the engineer of automated systems of information processing and management" (1999). At the present time — Deputy head the Department of geo-information

systems for research and innovation activities USATU. Associate Professor, candidate of technical Sciences. Research interests: systems analysis, information systems development in the sphere of public security and protection in emergency situations, the development of multidimensional data models, geographic information systems.

УДК 05.13.01

## МЕТРИКИ СЛОЖНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

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

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

<sup>2</sup> Институт информационных технологий и автоматизированного проектирования Московского технологического университета (МИРЭА), Москва, Россия  
buravcev@mirea.ru

### Аннотация

Статья посвящена исследованию сложных детерминированных систем. Дается анализ понятия сложной системы, применяемой при рассмотрении разных проблем и явлений. Показано, что классические определения сложных систем не учитывают количество элементов и ёмкость формального описания сложной системы. Рассмотрено описание сложных систем, предложенное Г. Ржевским, которое не включает закрытые и детерминированные системы. Показано, что теория сложных систем, которую развивает Хироки Саяма, является более общей по отношению к теории систем Берталанфи и Месаровича. Авторы анализируют метрики Холстеда, применяемые в области программного обеспечения, и доказывают их ограниченную применимость к описанию сложных детерминированных систем. Вводится понятие формального описания сложной детерминированной системы. Для дифференциации сложных систем по количеству элементов и содержательности вводятся три метрики сложной детерминированной системы. Дается описание и обоснование этих понятий. Раскрывается основная проблема описания сложных детерминированных систем – нахождение баланса между простотой описания модели системы и сохранением существенных характеристик сложности системы.

**Ключевые слова:** сложные системы, метрика, информационные единицы, метрики Холстеда, модель системы, системный анализ, теория систем, лингвистический подход.

**Цитирование:** Цветков, В.Я. Метрики сложной детерминированной системы / В.Я. Цветков, А.В. Буравцев // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С. 334-346. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-334-346.

### Введение

Несмотря на широкое употребление термина «сложные системы» до настоящего времени не разработано чётких критериев оценки сложности и сопоставимости сложных детерминированных систем. Это обусловлено тем, что понятие сложности является полисемическим и употребляется как атрибут и как субстанциональное понятие. Примерами сложности могут быть: сложность вычислений, топологическая сложность графа, технологическая сложность интерфейса, сложность управления подвижным объектом, сложность определения координат быстролетающих объектов, сложность определения точки падения космического объекта, сложность аппроксимации рельефа, сложность алгоритма, сложность генетического кода, сложность случайных взаимодействий, сложность нелинейных процессов и др.

При исследовании проблемы сложности часто сужают это понятие, либо используют его как атрибут другой проблемы. Так в работе [1], посвящённой междисциплинарному переносу знаний, сложность является препятствием типа информационного барьера. По существу рассматривается один вид сложности - сложность коммуникации между разными научными направлениями, и делается вывод - развитие трансдисциплинарности уменьшает сложность.

В работе [2], посвященной глобализации, рассматривается один вид сложности, обусловленный глобальными процессами, где по существу идеология управления аналогична управлению рисками, которые на практике сводятся к их минимизации. В работе [3] сложность связывают со сложностью хаоса или непредсказуемостью внешней среды. Технологическая сложность применения программного обеспечения (ПО) рассматривается в работе [4], где управление сложностью сводится к рекомендациям устранения трудностей при внедрении ПО. Здесь понятие «сложность» используют как синоним понятия «трудность».

Большое количество работ о сложности написано Ржевским Г.А. [5-7]. В работе [7] следует считать важным анализ различий, которые делают авторы между понятием «сложность» (complex) и «усложнение» (complicated) [7, таб.1]. Этим они разграничивают сложные системы от усложненных, но не сложных систем. Авторы вводят понятия стохастической и детерминированной систем [7, таб.2], не относя их к сложным системам. Это противоречит работам в области синергетики [3], в которых стохастические системы рассматривают как сложные системы.

«Сложность является свойством открытой системы, состоящей из большого числа разнообразных, частично автономных, богато взаимосвязанных компонентов, часто называемых агентами, не имеет централизованного контроля и чье поведение возникает из сложного взаимодействия агентов и поэтому неопределенно, не будучи случайным» [7, с.5]. В соответствии с этим определением все закрытые (а это технические системы и программные системы) из сложных систем исключаются. Авторы дают семь признаков сложной системы, которые «отличает сложные системы от детерминированных и случайных: связность, автономию, эмерджентность, неравновесность, нелинейность, самоорганизацию и коэволюцию». Эти признаки исключают детерминированные системы из числа сложных систем.

Трактовка сложных систем по Ржевскому [7] отлична от определений сложных систем, даваемых в работах по системному анализу Берталанфи [8], Месаровичем [9], Умова [10], в которых сложная система определяется как закрытая система, имеющая совокупность устойчивых связей.

Детерминированные системы, за исключением работы [4], в публикациях [1-7] не рассматривают и к сложным системам не относят. Поэтому целью данной работы является исследование сложности детерминированных систем. Существует достаточно большое количество различных детерминированных систем, которые с разной степенью можно отнести к сложным системам:

- прикладная система [11] (алгоритмическая система);
- система обработки данных;
- банк данных, сложная техническая система;
- сложная социотехническая система [12];
- сложная организационно-техническая система [13];
- сложная социальная система [14] и другие.

В тоже время системный анализ и теория систем по существу уходят от анализа сложных систем и рассматривают довольно простую модель сложной системы, содержащую однородные (однородные) элементы и типовые связи [8-10]. В системном анализе сложной системой называют множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которые образуют определённую целостность и единство, обладающее новым качеством, не присущим отдельным элементам [15]. Гетерогенность элементов в этом определении отсутствует. Определения сложных систем, даваемые в [8-10, 15], одинаково описывают систему, содержащую 10 и 10 000 000 элементов. Однако очевидно, что сложности таких систем существенно различаются. Кроме того, система, которая содержит всего 100 элементов и система, содержащая 100 элементов, но повторяющихся по 100 раз, то есть всего 10 000 элементов



также имеют разную сложность, что не отражают определения сложных систем [8-10, 15]. Применяемые по существу «простые модели сложной системы» [8-10] не в состоянии учесть различия и разные аспекты сложности перечисленных выше реальных систем. В аспекте современной проблемы «больших данных» [16] сложность систем можно связывать с большим информационным объёмом, большим числом связей, с когнитивными факторами: необозримости, невосприимчивости, неинтерпретируемости, непереносимости характеристик с одной системы на другую. Сложность можно связывать с понятием «большие графы» [17] и с соответствующими методиками их обработки. Возникает необходимость связать понятие сложности с размером системы и ввести некий сравнительный критерий оценки системы в зависимости от количества элементов этой системы.

По мнению авторов, в отличие от [1-7], некоторые сложные программы можно рассматривать как пример сложных систем. Поэтому наработки в области анализа ПО целесообразно использовать в качестве метрик сложной системы, которые позволят сравнивать разные детерминированные сложные системы между собой на основе объективных критериев. Цель данной статьи - обоснование модели метрики сложной детерминированной системы как критерия сложности.

## 1 Материалы и методы. Анализ метрик Холстеда

В основе данной работы лежит подход к оценке качества ПО и элементы математической теории коммуникации К.Э. Шеннона [18], а основой в оценке качества ПО являются метрики Холстеда [19, 20], позволяющие получить численное значение сравнительной характеристики ПО. Следует отметить, что большая часть оценок ПО, которую предлагает Холстед, является эмпирической, условной и даже спорной. Интерес представляют сами идеи получения той или иной оценки.

Условность состоит в том, что Холстед рассматривает только ПО и только последовательные программы и не рассматривает сложные системы. Базовые характеристики, которые использует Холстед, следующие [19]:

- $\eta_1$  - число различных операторов или базис операторов;
- $\eta_2$  - количество различных операндов или базис операндов;
- $N_1$  - общее число операторов в программе;
- $N_2$  - общее количество операндов.

Величины  $\eta_1$  и  $\eta_2$  можно рассматривать как алфавит или основание кода. В дальнейших работах последователей Холстеда греческие буквы  $\eta_1$  и  $\eta_2$  были заменены на латинские символы  $n_1$  и  $n_2$ . Это упрощает нотацию и не влияет на ход рассуждений. Наибольший интерес представляет метрика, которую Холстед называет расчётной длиной программы.

$$(1) \quad IN = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2 .$$

Обозначение  $IN$  введено авторами настоящей статьи. У Холстеда эта величина выражена через  $N$  с надчёрком. Расчётной длине программы Холстед противопоставляет фактическую или физическую длину программы

$$(2) \quad N = N_1 + N_2 .$$

Холстед также вводит величину  $n = n_1 + n_2$ , которая характеризует общее число операторов и операндов. Различие между выражениями (1) и (2) в том, что выражение (1) даёт оценку в битах, а выражение (2) даёт оценку в количестве информационных единиц [21], которые в данном случае являются операндами и операторами.

Проанализируем выражение (1) с позиций информационной теории. Здесь дискретная случайная величина  $X$  называется  $m$ -ичным символом, если множество её возможных значе-

ний  $x_1, x_2, \dots, x_m$  определено. Это множество называют алфавитом, а число  $m$  - основанием кода или объёмом алфавита. В случае метрики (1) имеем два основания кода  $n_1$  и  $n_2$ . Количество возможных вариантов разных сообщений:

$$(3) \quad Ns = m^n,$$

где  $Ns$ — возможное количество различных сообщений;  $m$ — количество букв в алфавите;  $n$ — количество букв в сообщении. В выражении (3)  $n$  является аналогом  $N$  в выражении (2). Количеством информации по Хартли называют характеристику

$$(4) \quad I = \log_2 Ns = n \log_2 m,$$

где  $I$  — количество информации (бит). Часто вместо  $Ns$  используют  $N$ . Но чтобы избежать путаницы с обозначениями Холстеда вводим  $Ns$ . При равновероятности символов  $p=1/m$ ;  $m=1/p$ , формула Хартли (4) переходит в собственную информацию [22, 23] символа, то есть информационную ёмкость [23]. Применительно к состояниям или к элементам информационного языка выражение (4) оценивает количество информации на одно состояние или количество информации на один символ сообщения.

Таким образом, в метрике Холстеда (1) стоит сумма двух энтропий, то есть количество информации, которую содержат два алфавита, образующие программу. Это даёт основание трактовать выражение (1) как информационную длину программы, что и обусловило введение авторами статьи символа  $I$  в дополнение к символу  $N$ .

*Определение 1:* информационная длина программы – это количество информации в битах, которое содержат алфавиты, образующие эту программу.

Данная трактовка является информационной трактовкой метрики Холстеда (1). Топологическая модель метрики Холстеда приведена на рисунке 1.

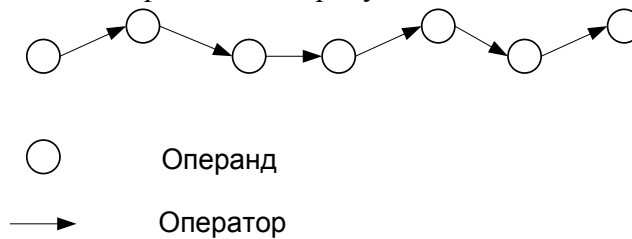


Рисунок 1 – Топологическая модель метрики Холстеда

Как следует из рисунка 1, топологическая модель метрики Холстеда описывает линейную систему с наличием только двух групп элементов. Для линейных последовательных программ такая схема приемлема. При этом такая система является упрощением, поскольку не включает циклы и связи между однотипными элементами. Она не приемлема для параллельных вычислений и сетей Петри. На рисунке 2 показана схема реальной программы, которая не описывается метрикой Холстеда.

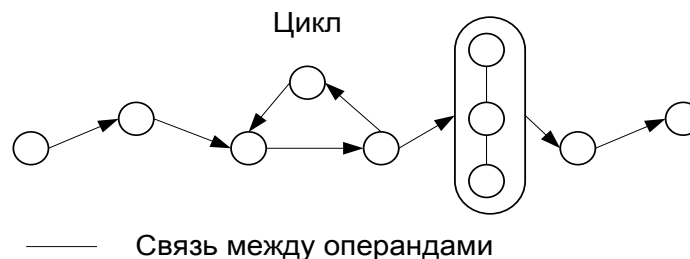


Рисунок 2 – Схема программы с циклом и дополнительными связями

Схема на рисунке 2 включает два дополнительных элемента: цикл и связи между опе-

рандами. В схеме на рисунке 1 оператор выполняет функции связи единственного вида. Можно констатировать, что метрика Холстеда (1) является упрощённым описанием только линейной системы без циклов и дополнительных связей. Следовательно, она имеет ограниченную область применения.

Ещё одна характеристика, которую вводит Холстед, это условный информационный объём, определяемый по формуле

$$(5) \quad V = N \log_2 n.$$

С геометрической точки зрения выражение (5) описывает не объём, а площадь. В соответствии с формулой Хартли выражение (5) описывает логическое количество информации, которое содержит реальная программа, то есть произведение информационных единиц программы (операнды и операторы) и бит словаря без учёта информационной ёмкости каждой единицы. Величина  $N$  не учитывает объёмы информационных единиц. Величина  $\log_2 n$  не учитывает отсутствие элементов словаря в программе, подразумевая, что все элементы словаря использованы в программе. Это ограничивает применимость методик Холстеда. Давая общую характеристику введения метрики Холстеда, можно назвать его подход формально лингвистическим или просто лингвистическим.

Вывод. Большинство метрик Холстеда не адекватно метрикам сложных систем и не может быть без переработки перенесено в теорию сложных систем. Однако отдельные метрики и идеи могут использоваться для построения метрик сложных систем и для сравнения сложных систем. Метрика Холстеда учитывает только два типа информационных единиц.

## 2 Моделирование и метрики

### 2.1 Моделирование сложных систем

В зависимости от исходных концепций при описании сложных систем получают разные модели систем и разные трактовки. По мнению авторов, работа [24] наиболее адекватно описывает систематику современных сложных систем, т.к. она рассматривает стохастические системы и детерминированные системы, анализирует саморазвивающиеся и закрытые системы, включая в себя теорию систем [8-10]. В соответствии с [24, с.5] в теорию сложных систем входят эмерджентизм [25] и самоорганизация [26]. Она связана с теорией игр, коллективным поведением, теорией распределённых систем, эволюцией и адаптацией, нелинейной динамикой [1-7].

Сложными системами называют сетевые системы, которые имеют большое количество компонент, взаимодействующих друг с другом, для которых типичными являются нелинейные функции [24, с.3]. Авторы данной статьи разделяют точку зрения Niigaki Sayama [24], однако считают более точным заменить термин «сетевые системы» на термин «распределённые системы». Анализ работы [24] показывает, что понятием сетевые системы автор фактически обозначает сетевую структуру, а не сетевые системы. Целесообразность использования понятия «распределённые системы» в альтернативу «сетевым системам» подтверждается современным развитием технологий Интернет-вещей [27] и технологиями кибер-физических систем [28]. Оба эти вида систем относятся к сложным и распределённым системам.

Модель сложной системы должна быть воспринимаема, валидна и надёжна. *Восприимчивость* [29] – когнитивный фактор и его иногда избегают, заменяя термином простота. В развитие понятия Ржевского «усложнение» [7] можно ввести понятие «упрощение» и разграничивать понятие простая система от понятия «упрощённая сложная система».

*Валидность* модели сложной системы называют качество информационного соответствия, которое показывает то, насколько точно предсказание поведения сложной системы

согласуется с наблюдаемой реальностью [24]. Это имеет первостепенное значение с практической точки зрения. Если предсказание поведения сложной системы не соответствует реальному поведению, модель такой системы бесполезна. Проверка соответствия поведения модели и реальности является первым фактором валидности модели или валидности по поведению. Этот критерий используется почти всегда, но он не является единственным.

Для оценки валидности сложной системы важно проверить условия и допущения, которые используются при описании сложной системы. То есть, в какой степени предположения, используемые в модели сложной системы, учитывают и согласуются с существующими знаниями, эмпирическим опытом и научной интуицией. Иногда эмпирический опыт важнее для моделирования сложных систем, поскольку существует много ситуаций, когда теория не в состоянии описать особенности поведения сложной системы.

Степень соответствия условий и допущений определяет область применимости модели сложной системы. Поведение модели сложной системы может соответствовать реальному поведению в каких-то определённых ситуациях, которые задаются исходными допущениями. Если эти допущения не охватывают широкий спектр реальных условий, то такая модель сложной системы имеет узкое применение и по существу также не является валидной. Этот критерий валидности модели сложной системы является критерием валидности по условиям. Он показывает насколько условия, в которых применима модель, соответствуют реальным условиям функционирования данной сложной системы.

*Надёжность* модели сложной системы определяется тем, насколько поведение сложной системы не чувствительно к незначительным вариациям допущений модели или параметров информационной ситуации, в которой сложная система функционирует [24].

Реальные сложные системы всегда динамические. Теория динамических систем является основой большинства моделей сложных систем. Она рассматривает, как с течением времени меняются системы и их поведение. Динамическую систему можно упрощённо определить как систему, состояние которой однозначно задаётся набором переменных, поведение которых описывается предопределёнными правилами [30, с.470].

## 2.2 Метрики как характеристики сложных детерминированных систем

Для поиска метрик необходимо использовать структурно-лингвистический подход к описанию сложной системы, сущность которого состоит в детализации лингвистического подхода Холстеда с учётом структурных и содержательных особенностей сложных систем.

Между подсистемой и частью сложной системы существуют функциональные различия. Структурно они представляют собой совокупность связанных элементов, имеющих общий вход/выход. С позиций структуры при обобщённом рассмотрении система и подсистема могут быть эквивалентами. В структурном плане можно рассматривать систему как совокупность частей, элементов и связей между ними. На рисунке 3 приведены структурные элементы сложной системы. Выделено три типа качественных характеристик: части (компоненты), элементы, связи (отрезки прямых). Информационное взаимодействие между элементами основано на принципе информационного соответствия [31].

Если рассматривать систему с гетерогенными элементами, то части также можно считать элементами. Максимальное количество связей в системе, которая описывается плоским графом, равно  $(n-1)n/2$ . Здесь  $n$  – количество связанных элементов в системе. Сложная система на рисунке 3 содержит три качественных вида характеристик.

По аналогии с метрикой Холстеда можно ввести характеристику сложности системы логической информационной длины ( $iLS$ ) формального описания сложной системы для топологической схемы, представленной на рисунке 3.

$$(6) \quad iLS = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2 + n_3 \log_2 n_3,$$

где:  $iLS$  – логическая информационная длина формального описания сложной системы;  $n_1$  – количество разных частей системы (базис или словарь частей);  $n_2$  – количество разных элементов (E на рисунке 3) системы (базис или словарь элементов);  $n_3$  – количество разных связей в системе (базис или словарь связей).

Выражение (6) и величину  $iLS$  можно рассматривать как первую информационную метрику сложной системы. Каждый качественный признак задаёт свой алфавит. Выражение (6) даёт одинаковое значение для систем, имеющих одинаковые словари.

### Сложная система

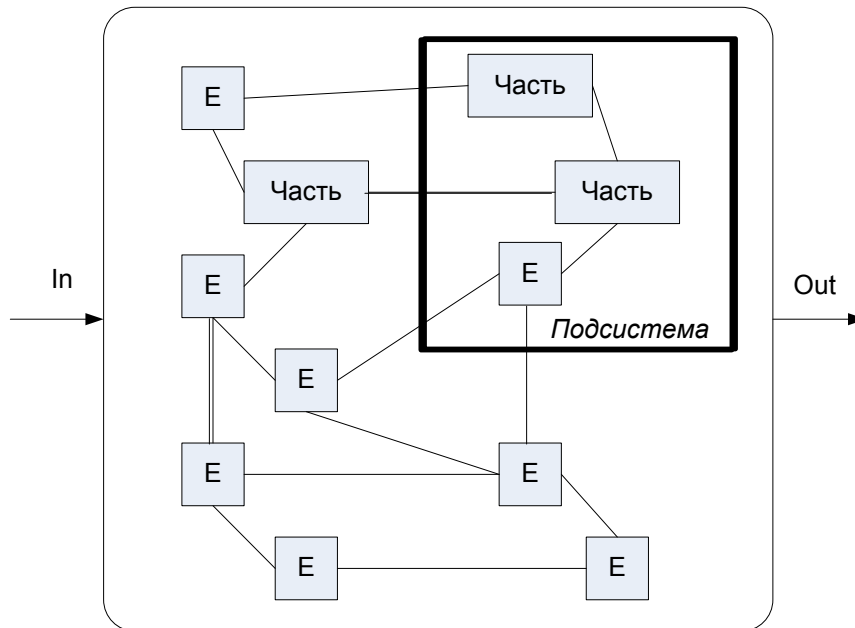


Рисунок 3 – Структурные элементы сложной системы

**Определение 2:** логическая информационная длина формального описания сложной системы – это количество информации в битах, которое содержат алфавиты характеристик, описывающие данную систему.

Определение не ограничивает число видов характеристик. Поэтому в общем случае для  $k$  - характеристик сложной системы информационная логическая длина формального описания сложной системы имеет вид

$$(7) \quad iLS = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2 + \dots + n_k \log_2 n_k.$$

Величина  $iLS$  является логической информационной характеристикой сложной системы и определяет в битах качественное содержание описания сложной системы, без учёта фактической информационной ёмкости отдельных элементов алфавита.

Логическая информационная длина является характеристикой описания системы, но не характеристикой самой системы. В аспекте закона многообразия У.Р. Эшби [26] выражение (7) является количественной характеристикой качественного многообразия. Оно может служить инвариантом описания сложных систем и сложных программ.  $iLS$  не отражает семантику и содержательную часть, а отражает только информационную ёмкость алфавитов в битах. Величина  $iLS$  является одинаковой для разных сложных систем, имеющих одинаковый набор словарей и одинаковое количество единиц в каждом словаре.

В информационных моделях и информационных конструкциях роль элементов системы выполняют информационные единицы. Фактический информационный объём в информаци-

онных единицах описания конкретной сложной системы будет равен

$$(8) \quad N = N_1 + N_2 + \dots + N_k.$$

Здесь  $N_i$  ( $i=1\dots k$ ) - число информационных единиц каждого вида, образующих данное описание сложной системы. Выражение (8) является индивидуальным для каждой системы и при этом сопоставимым для разных сложных систем с одинаковым набором информационных единиц. Оно является аналогом физического объёма. В общее число  $N$  входят и повторяющиеся единицы.

Условный объём в информационных единицах описания конкретной сложной системы определяется по аналогии с выражением (5) Холстеда по формуле

$$(9) \quad V = N \log_2 n.$$

Величина  $V$  измеряется в битах. Отдельные информационные единицы могут иметь разное количество битов. Это не отражается величиной  $N$ , которая указывает только их количество, но не учитывает информационную ёмкость каждой единицы в битах. Следовательно, величина  $V$  является условно сопоставимой только для тех сложных систем, которые имеют одинаковые алфавиты описания и используют все единицы словаря. Величина  $V$  не характеризует информативность описания системы.

Можно использовать аналогию с теорией реляционных баз данных. Величина  $n$  характеризует универсальное отношение или строку заголовков. Величина  $N$  характеризует количество значащих строк таблицы. Величина  $Nn$  характеризует площадь таблицы в клетках, то есть произведение строк и столбцов. Площадь таблицы (аналог  $V$ ) является характеристикой объёма, но не является характеристикой информативности. На рисунке 4 приведены два примера структуры равновеликого информационного объёма для разных систем.

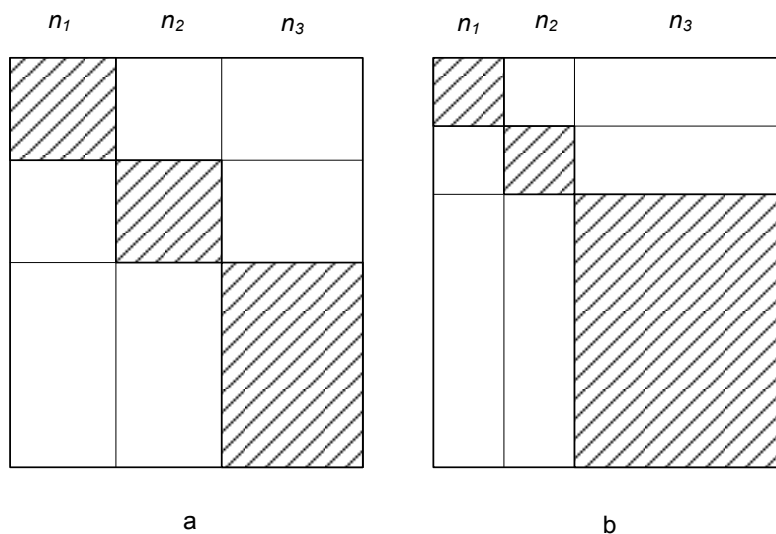


Рисунок 4 – Примеры структур равновеликого информационного объёма для разных систем а) и б)

Величина информационного объёма одинакова для каждой системы в вариантах а) и б). Штриховкой показаны информативные части. Особенность универсального отношения или таблицы с  $n$  столбцами в том, что значащие значения в строке имеются только для данного показателя. Например, в строке для показателя  $n_1$  будут стоять значения в столбцах, описывающих этот показатель, а в этой же строке для других показателей будут стоять нули. Такая таблица является квазидиагональной, содержащей много пустых клеток. Для вариантов а) и б) значение информационного объёма по Холстеду неизменно, но информативность таблиц для вариантов различна. Для варианта а) информативность (количество отличных от нуля

значений параметров) составляет 65%V, а для варианта б) количество информативных параметров составляет 53%V. Следовательно, величина V в выражениях (5) и (9) не отражает характеристику системы, а отражает информационную ёмкость системы безотносительно к её заполнению полезной информацией.

Если рассматривать выражения (5) и (9) в аспекте информационного объёма файлов, которые их содержат, то в этом случае также можно обнаружить несоответствие. Информационный объём в битах может быть разным даже для систем с одинаковым V и равным числом  $n_i$  ( $i=1...k$ ). Информационные единицы могут иметь разную информационную ёмкость (например, числа с обычной или двойной точностью), что в итоге приведёт к разным физическим информационным объёмам файлов, которые описывают данные системы или программы. В альтернативу выражениям (5) и (9) предлагается выражение (10), характеризующее содержательный информационный объём или содержательную информационную ёмкость ( $iV$ ) сложной системы или программы

$$(10) \quad iV = \sum_{i=1}^n \eta_i \times \kappa_i \times \mu_i$$

В этом выражении  $\eta_i$  обозначает информационный объём  $i$ -ой информационной единицы, величина  $\kappa$  - коэффициент повторяемости данной единицы в описании, величина  $\mu$  – коэффициент существования данной единицы в описании (равен 1 или 0).

Выражение (10) инвариантно для систем, имеющих одинаковые словари, его можно рассматривать как вторую метрику сложной системы. Она различна для различных сложных систем, имеющих разную информативность или информативную структуру (рисунок 4). Выражение (10) содержит общую характеристику  $n$  группы систем и содержит индивидуальные характеристики системы  $\kappa$  и  $\mu$ . Следовательно, величина  $iV$  может служить информационным инвариантом, характеризующим сложные системы и позволяющим сравнивать их между собой по критерию объёма информативности. При известных вероятностях выражение (10) трансформируется в информационную энтропию. Вторую метрику можно представить как информационный объём информативной части описания сложной системы.

Различие между (7) и (10) в том, что выражение (7) даёт приближённую оценку, а выражение (10) точную, применительно к семантике. Но при отсутствии информации о повторяемости информационных единиц или их вероятностей выражение (10) не применимо. В этом случае можно для оценки использовать выражение (7), учитывая приближённость такой оценки.

Можно расширить метрику (7) на семантические структуры. Эту метрику можно применить к семантической системе безотносительно к тому, относится она к сложным системам или не относится. По аналогии с метрикой Холстеда можно ввести понятие информационной длины или информационной ёмкости семантической системы ( $iLSS$ ), выразив её через качественные семантические информационные единицы.

$$(11) \quad iLSS = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2 + n_3 \log_2 n_3,$$

где:  $iLSS$  – логическая информационная ёмкость семантической системы;  $n_1$  – количество сигнификативных информационных единиц (базис);  $n_2$  – количество предикативных информационных единиц;  $n_3$  – количество ассоциативных информационных единиц. Выражение (11) можно использовать для оценки систем хранения информации.

### 3 Обсуждение

Холстед, вводя характеристики, заимствованные из теории К.Э. Шеннона, предложил использовать информационную сущность и ввел некие свои комбинации. В битах он измерял

ет величины, которые являются логическим описанием и не соответствуют физическому количеству битов реальной программы или реального словаря. Выражение (1) будет давать одинаковое количественное значение для разных программ, написанных на одном языке. Оно не зависит от фактической длины программы и фактического количества операторов и операндов в программе. Оно зависит от количества единиц словаря и количества словарей. У Холстеда их всегда 2. На практике их может быть больше.

Условный информационный объём программы (5) является её характеристикой, далекой от реальной информационной ёмкости или информационного объёма программы.

При построении любой модели стремятся обеспечить её простоту, валидность и надёжность [24], а также учесть когнитивные факторы построения модели: обозримости и воспринимаемости [29]. Это можно рассматривать как упрощение описания системы.

Стремление к обозримости и воспринимаемости, или к простоте, входит в противоречие с понятием сложности. Упрощение модели сложной системы может привести к искажению и исчезновению свойств, описывающих сложность. Поэтому на практике необходимо находить компромисс между попытками добиться простоты моделирования и сложностью описания модели самой системы. Поиск баланса между простотой и сложностью модели является задачей научного исследования, которую каждый исследователь решает исходя из своих критериев и особенностей объекта исследования.

## Заключение

Важными задачами исследования сложных систем являются поиск баланса между простотой и сложностью для адекватного описания конкретной системы и между частным и общим для выявления общих закономерностей и инвариантов сложных систем. Теория сложных систем должна изучать их индивидуальные свойства и выявлять сопоставляемые закономерности и характеристики, что позволяет сравнивать между собой разные сложные системы и выявлять закономерности поведения однотипных сложных систем. Примером таких общих характеристик являются воспринимаемость, валидность и надёжность. Построенная модель сложной системы должна быть воспринимаема, валидна и надёжна. Инварианты, предлагаемые в данной статье, одна из попыток решения рассмотренных задач.

## Список источников

- [1] *Klein, J.T.* et al. (ed.). Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society: An effective way for managing complexity. – Birkhäuser, 2012.
- [2] *Lane, H.W.* et al. (ed.). The Blackwell handbook of global management: A guide to managing complexity. – John Wiley & Sons, 2009.
- [3] *Helbing D., Lämmer S.* Managing complexity: An introduction // Managing complexity: Insights, concepts, applications. – 2008. – p.1-16.
- [4] *Campbell, A.T., Coulson G., Kounavis M.E.* Managing complexity: Middleware explained // IT professional. – 1999. – Т. 1. – №. 5. – p.22-28.
- [5] *Rzevski, G.* A practical methodology for managing complexity // Emergence: Complexity and Organization. – 2011. – Т. 13. – №. 1/2. – p.38.
- [6] *Rzevski, G.* Modelling large complex systems using multi-agent technology // Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel & Distributed Computing (SNPD), 2012. 13th ACIS International Conference on. – IEEE, 2012. – p.434-437.
- [7] *Rzevski G., Skobelev P.* Managing complexity. – Wit Press, 2014.
- [8] *Бергманн фон Л.* Общая теория систем – критический обзор. / В кн. Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. - С.23-82.
- [9] *Месарович М., Такахага Н.* Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978 – 311 с.
- [10] *Уемов, А.И.* Системный подход и общая теория систем. - М.: Мысль, 1978 – 272 с.



- [11] **Цветков, В.Я.** Прикладные системы / В.Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №3 - с.78-85.
- [12] **Матрусова, Т.Н.** Организация как социотехническая система и управление персоналом в японской фирме / Т.Н. Матрусова // Труд за рубежом. - М.: НИИ труда. – 1999. – №. 4. – С. 77-93.
- [13] **Корнаков, А.Н.** Модель сложной организационно-технической системы / А.Н. Корнаков // Перспективы науки и образования. - 2015. - №2. – с.44-50.
- [14] **Парсонс, Т.** Социальные системы / Т. Парсон // Личность. Культура. Общество. – 2003. – Т. 5. – №. 1-2. – С.169-203.
- [15] **Волкова, В.Н.** Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов // СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001 - 512 с.
- [16] **Tsvetkov V.Ya., Lobanov A.A.** Big Data as Information Barrier // European researcher, Series A. 2014, Vol.78, № 7-1, p.1237-1242.
- [17] **Курчанов, А.А.** Программа расчёта метрических характеристик больших графов / А.А. Курчанов, Е.Б. Юдин // Омский научный вестник. – 2014. – №. 3 (133). – с.217-221.
- [18] **Shannon, C.E.** A Mathematical Theory of Communication / Bell System Technical Journal, July & October, 1948. vol. 27, pp. 379–423 & 623–656.
- [19] **Halstead, Maurice H.** Elements of Software Science. Amsterdam: Elsevier North-Holland, Inc. 1977. - ISBN 0-444-00205-7.
- [20] Measurement of Halstead Metrics with Testwell CMT++ and CMTJava (Complexity Measures Tool). Halstead Metrics. Site Verifysoft Technology. - [http://www.verifysoft.com/en\\_halstead\\_metrics.html](http://www.verifysoft.com/en_halstead_metrics.html). (Дата обращения: 22.06.2017).
- [21] **Tsvetkov, V.Ya.** Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, Vol.(1), № 1, p.57-64.
- [22] **Ожиганов, А.А.** Передача данных по дискретным каналам / А.А. Ожиганов, М.В. Тарасюк. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики, 1999. - 102 с.
- [23] **Хелд, Г.** Технологии передачи данных. 7-изд. - СПб.: Питер, 2003. - 720 с.
- [24] **Hiroki Sayama.** Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. – 498 p.
- [25] **Цветков, В.Я.** Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
- [26] **Эйбси, У.Р.** Принципы самоорганизации. - М.: Мир, 1966. - 332 с.
- [27] **Дешко, И.П.** Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие / И.П. Дешко, К.Г. Кряженков, В.Я. Цветков. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
- [28] **Khaitan et al.** Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, IEEE Systems Journal, 2014.
- [29] **Цветков, В.Я.** Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей / В.Я. Цветков // Перспективы науки и образования. 2013. №3. - С.38-46.
- [30] **Simon, H.A.** The architecture of complexity. Proceedings of the American Philosophical Society, vol. 106, no. 6, 1962, pp.467–482.
- [31] **Цветков, В.Я.** Информационное соответствие / В.Я. Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1 (часть 3) – с.454-455.

## METRICS OF A COMPLEX DETERMINATE SYSTEM

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

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

<sup>2</sup> *Institute of Information Technologies and Computer-Aided Design of Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia, buravcev@mirea.ru*

### Abstract

The article is devoted to investigation of complex determinate systems. The paper analyzes the concept of a complex system, applicable for various problems and phenomena. The article shows that the classical definitions of complex systems do not take into account the number of elements and the capacity of the formal description of a complex sys-

tem. The article considers description of complex systems, given by G. Rzhovsky. It is shown that it does not cover closed and deterministic systems. The paper shows that the theory of complex systems developed by Hiroki Sayama is more general in relation to the theory of systems of Bertalanffy and Mesarovic. The article analyzes Halstead's metrics applied in the field of software, and proves their ideological acceptability to the description of complex systems despite being formally inapplicable. The authors introduce three metrics of a complex deterministic system to differentiate complex systems by the number of elements and content. The article gives description and substantiation of these concepts metrics. Authors reveal the main problem of describing complex systems - finding a balance between the simplicity of describing the system model and preserving the essential characteristics of the complexity of the system.

**Key words:** *complex systems, information units, Halstead metrics, system model, system analysis, systems theory, linguistic approach.*

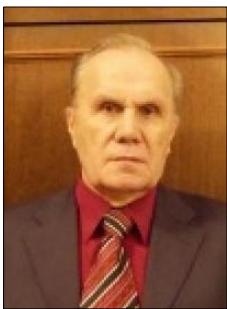
**Citation:** *Tsvetkov VYa, Buravtsev AV. Metrics of a complex determinate system. Ontology of designing. 2017; 7(3): 334-346. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-334-346.*

## References

- [1] **Klein JT.** et al. (ed.). Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society: An effective way for managing complexity. – Birkhäuser, 2012.
- [2] **Lane HW.** et al. (ed.). The Blackwell handbook of global management: A guide to managing complexity. – John Wiley & Sons, 2009.
- [3] **Helbing D., Lämmer S.** Managing complexity: An introduction //Managing complexity: Insights, concepts, applications. – 2008. – P. 1-16.
- [4] **Campbell AT., Coulson G., Kounavis ME.** Managing complexity: Middleware explained. IT professional. – 1999; 1(5): 22-28.
- [5] **Rzevski G.** A practical methodology for managing complexity. Emergence: Complexity and Organization. – 2011; 13(1/2): 38.
- [6] **Rzevski G.** Modelling large complex systems using multi-agent technology //Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel & Distributed Computing (SNPD), 2012 13th ACIS International Conference on. – IEEE, 2012. – P. 434-437.
- [7] **Rzevski G., Skobelev P.** Managing complexity. – Wit Press, 2014.
- [8] **Bertalanffy L.** The general theory of systems is a critical review [In Russian]. In the book. Studies on the general theory of systems. Moscow: Progress, 1969. P. 23 -82.
- [9] **Mesarovic M., Takahara N.** General theory of systems: mathematical foundations [In Russian]. - Moscow: Mir, 1978 -311 p.
- [10] **Uemov AI.** The system approach and the general theory of systems [In Russian]. - M. Thought, 1978. - 272 p.
- [11] **Tsvetkov VYa.** Applied systems [In Russian]. News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. – 2005; 3: 78-85.
- [12] **Matrusova TN.** Organization as a socio-technical system and personnel management in a Japanese firm [In Russian]. Work Abroad-Zhom.-M.: Research Institute of Labor. – 1999; 4: 77-93.
- [13] **Kornakov AN.** Model of a complex organizational and technical system [In Russian]. Perspectives of science and education. – 2015; 2: 44-50.
- [14] **Parsons T.** Social systems [In Russian]. Personality. Culture. Society. – 2003; 5(1-2): 169-203.
- [15] **Volkova VN., Denisov AA.** Fundamentals of the theory of systems and systems analysis [In Russian]. - St. Petersburg: Publishing house SPbSTU, 2001 -512 p.
- [16] **Tsvetkov VYa., Lobanov AA.** Big Data as Information Barrier. European researcher, Series A. 2014; 78(7-1): 1237-1242.
- [17] **Kurchanov AA., Yudin EB.** Program for calculating the metric characteristics of large graphs [In Russian]. Omsk Scientific Bulletin. – 2014; 3 (133): 217-221.
- [18] **Shannon CE.** A Mathematical Theory of Communication/ Bell System Technical Journal, July & October, 1948. vol. 27, pp. 379–423 & 623–656,
- [19] **Halstead, Maurice H.** Elements of Software Science. Amsterdam: Elsevier North-Holland, Inc. 1977. - ISBN 0-444-00205-7.
- [20] Measurement of Halstead Metrics with Testwell CMT++ and CMTJava (Complexity Measures Tool). Halstead Metrics. Site Verifysoft Technology. - [http://www.verifysoft.com/en\\_halstead\\_metrics.html](http://www.verifysoft.com/en_halstead_metrics.html). (Data view: 22.06.2017).
- [21] **Tsvetkov VYa.** Information Units as the Elements of Complex Models. Nanotechnology Research and Practice. 2014; 1(1): 57-64.

- [22] **Ozhiganov AA., Tarasyuk MV.** Data transmission via discrete channels [In Russian]. - St. Petersburg: St. Petersburg State Institute of Precision Mechanics and Optics 1999. – 102 p.
- [23] **Held G.** Data transmission technologies. 7-ed. - St. Petersburg: Peter, 2003. – 720 p.
- [24] **Hiroki Sayama.** Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498 p.
- [25] **Tsvetkov VYa.** Emergentism [In Russian]. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2017; 2-1: 137-138.
- [26] **Ashby WR.** Principles of self-organization. - Moscow: Mir, 1966. 332 p.
- [27] **Deshko IP., Kryazhenkov KG., Tsvetkov VYa.** Devices, models and architectures of the Internet of things: Textbook [In Russian]. - Moscow: MAX Press, 2017. – 88 p.
- [28] **Khaitan et al.** Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, IEEE Systems Journal, 2014.
- [29] **Tsvetkov VYa.** Cognitive aspects of constructing virtual educational models [In Russian]. Prospects of science and education. 2013; 3: 38-46.
- [30] **Simon HA.** The architecture of complexity. Proceedings of the American Philosophical Society, 1962; 106(6): 467–482.
- [31] **Tsvetkov VYa.** Information correspondence [In Russian]. International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2016. - No. 1 (Part 3): 454-455.

### Сведения об авторах



**Цветков Виктор Яковлевич**, 1945 г. рождения. Окончил Иркутский государственный университет 1967 г. (д.т.н., 1995). Действительный член международной академии наук Евразии, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, действительный член Российской академии образования, президент «Института гуманитарных наук, экономики и информационных технологий» (Болгария). Лауреат Премии президента РФ в области образования (2003), лауреат Премии правительства РФ (2014), почётный работник науки и техники РФ, почётный работник высшего профессионального образования РФ, автор более 1100 печатных работ, в том числе 78 монографий, 62 учебных пособий, 66 дипломов и патентов.

**Victor Yakovlevich Tsvetkov** (b. 1945) graduated from the Irkutsk State University in 1967 (Doctor of Engineering 1995). A full member of the International Academy of Sciences of Eurasia (IEAS), a full member of the Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, full member of the Russian Academy of Education, president of the Institute of Humanitarian Sciences, Economics and Information Technologies, EIOD IKNIT (Bulgaria). 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 78 monographs, 62 teaching aids, 66 diplomas and patents.



**Буравцев Алексей Владимирович**, 1979 г. рождения. Окончил Московский авиационный институт (технический университет) в 2002 г. Заместитель директора Института информационных технологий и автоматизированного проектирования Московского технологического университета (МИРЭА).

**Alexey Vladimirovich Buravtsev** (b. 1979) graduated from the Moscow State Aviation Institute (Technical University) in 2002. Deputy Director of the Institute of Information Technologies and Automated Design of the Moscow Technological University (MIREA).

УДК 597.97

## О КАЧЕСТВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

**С.В. Микони**

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

### Аннотация

Обсуждаются факторы, влияющие на качество онтологических моделей. Формулируются общие требования к качеству моделей. Указывается зависимость качества модели от качества определений входящих в неё понятий. Формализуется роль познающего субъекта в треугольнике Фреге. Близость смысла слова обозначаемому образу создаёт синергетический эффект правильного понимания понятия. Отсюда следует важность преимущественного применения слов национального языка для обозначения понятий. Приводятся примеры ложно-ориентирующих терминов. Выполнен анализ онтологической модели качества систем с управлением. В качестве основного недостатка модели отмечена несовместимость узкодисциплинарных определений понятий в междисциплинарной модели. Предложены определения обобщающих понятий. На их основе разработана шкала активной устойчивости систем с управлением.

**Ключевые слова:** качество модели, определение понятия, система с управлением, понятия дисциплинарные, междисциплинарные, обобщающие, устойчивость, самоорганизация.

**Цитирование:** 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.

### Введение

Онтологические модели (ОМ) относятся к классу познавательных моделей. Это проявилось и в названии соответствующего вида моделирования, называемого когнитивным (познавательным) моделированием [1]. В познавательном процессе участвует как образная, так и знаковая составляющая. Носителем знаковых познавательных моделей являются слова естественного языка, а их сигнатурой – логические операции. По этой причине их называют логико-лингвистическими моделями [2]. К образному аспекту логико-лингвистической модели относят структурную составляющую. Она отражает в явном виде связи между словами, объединяемыми в систему. К моделям этого типа относятся: система понятий; классификация; семантическая сеть; когнитивная карта; ER-диаграмма базы данных; блок-схема.

В отсутствие объективного объекта моделирования эти модели имеют существенную субъективную составляющую. Она проявляется, прежде всего, в трактовке субъектом познания смысла используемых понятий. Более того, определения понятий в нормативных документах могут быть недостаточно квалифицированными. В качестве примера приведём определение понятия *управление*, сформулированное в [3]: *управление* – выработка и осуществление воздействий на объект *управления*, предназначенных для достижения цели *управления*. Это определение имеет два порочных цикла из-за наличия в нём двух повторений определяемого слова.

Другой причиной неправильного понимания понятий является неумеренное употребление иностранных слов [4], смысл которых существенно зависит от контекста. В книге [5] эта проблема объясняется следующим образом: «...приблизительность мысли легче всего облечь в иностранное слово, ведь все вокруг понимают его, как и ты, приблизительно. В этом траге-

дия термина: термин всегда по значению точен, но обычно не знают его значения». Здесь имеется в виду неоднозначная связь значения термина с контекстом, а также неоднозначное соответствие между русским и иностранным терминами, например, *контроль* и *control*.

Третьей причиной, влияющей на качество ОМ, является пренебрежение закономерностями системного анализа. В нём большое значение придаётся обоснованному определению связей между элементами системы, каковыми в ОМ являются понятия ПрО.

С учётом изложенного актуальной задачей является формулирование требований к качеству ОМ и предложение способов его оценивания. Для понимания существа задачи большую роль играет разбор конкретной ОМ с целью оценивания её качества. В качестве таковой выбрана шкала уровней качества и дерево свойств системы с управлением, предложенная в работе [6].

## 1 Качество онтологической модели

Применительно к любому типу модели её качество определяется как *обобщённая характеристика модели, позволяющая оценить степень её пригодности для решения задачи моделирования* [7]. Обобщённая характеристика модели может иметь как качественную, так и количественную оценку. Простейшим примером качественных оценок являются значения: *пригодна* и *не пригодна* модель для решения конкретной задачи моделирования. Количественная оценка должна характеризовать степень пригодности модели для решения поставленной задачи, выраженная в долях единицы или в процентах. Общими требованиями, предъявляемыми к качеству любой модели, являются следующие.

- *Соответствие* (адекватность) объекту моделирования:
  - системное: полнота, непротиворечивость;
  - детальность: функциональное (при оценивании в целом), структурно-функциональное (при оценивании по частям).
- *Обоснованность* (подсистема объяснения).
- *Сложность*
  - представления (объём занимаемой памяти),
  - вычисления (вычислительная сложность).
- *Результативность*
  - точность,
  - достоверность (степень доверия).
- *Адаптивность* (возможность изменений).
- *Понятность* (удобство восприятия)
  - человеку (обоснованность),
  - компьютеру (технологичность).

К особенностям ОМ относится их субъективный характер, поскольку моделированию подвергается вымышленный объект, как плод размышлений его автора. Мысли облакаются в слова и образы, претворяемые в структурно-функциональную модель (СФ-модель). Её вершины обозначаются именами понятий (терминами), а связи между ними – абстрактными или предметными отношениями (предикатами). Исходя из онтологической интерпретации структурно-функциональной модели, её качество определяется качеством понятий и отношений между ними. Понятие следует рассматривать как первичную модель знания. Качество понятия оценивается степенью соответствия его определения определяемой сущности (англ. *de note a thing*) и правильной ориентацией присвоенного ему термина (лексического знака).

Отношение между объектом познания, понятием, как результатом познания, и обозначением понятия описывается смысловым треугольником Фреге. Вершинами треугольника яв-

ляются: обозначаемая сущность (denotat от лат. denotatum – обозначенное), отражающее её понятие и его имя. Рёбрами связываются отношения между ними.

Недостатком этой модели является отсутствие в ней *субъекта* познавательного процесса, от знаний которого зависит качество формируемого понятия. Ведь, новое знание определяется по отношению к уже *известному* знанию. Оно и определяет зависимость результата познания от уровня знания субъектом соответствующей предметной области и общей картины мира, объясняемой с помощью философии, математики и системного анализа. С целью учёта влияния знаний субъекта на качество формирования нового понятия, включим его в центр смыслового треугольника [8] (см. рисунок 1).

Объект познания принадлежит универсуму объектов познания и является составной частью внешней среды по отношению к субъекту. Проблема высокой размерности универсума решается его делением на предметные области (ПрО).

Сутью процесса познания субъектом нового объекта знания (вертикальная стрелка на рисунке 1) является выявление *роли* нового знания по отношению к исходному знанию (внутреннему миру) субъекта с применением отношения «сходство-различие».

Нижние вершины смыслового треугольника принадлежат внутреннему миру субъекта познания.левой вершине ставится в соответствие *определение* понятия, как результат объяснения познающим субъектом (левая стрелка от субъекта) роли формируемого понятия по отношению к известным понятиям.

Многословное определение понятия удобно для его понимания, но оно не удовлетворяет требованию краткости. Поэтому оно обозначается (правая стрелка от субъекта) *знаком* (см. правую вершину треугольника). В ОМ в качестве знаков используются термины ПрО, выполняющие роль лингвистической свёртки словосочетаний. Отметим важность преимущественно русских слов в обозначении понятий. Близость смысла слова обозначаемому образу создаёт синергетический эффект правильного понимания понятия.

Правильному пониманию и применению терминов препятствуют следующие факторы:

- неправильное определение понятия;
- иностранные термины, используемые носителями языка в другом контексте;
- замена понятного русского слова иностранным термином;
- ложно-ориентирующие термины.

Пример неправильного определения понятия *управление* приведён во введении. Примером различного толкования оригинального иноязычного термина и его русского эквивалента являются термины *control* и *контроль*. Примером избыточного применения иностранных терминов является слово *эмерджентность*. Этим трудно произносимым словом заменяют термин *целостность*, имеющий смысл порождения свойств целого, не присущих свойствам его частей. Примером ложно-ориентирующего термина является *функция регрессии*. Это понятие было сформулировано при выявлении зависимости роста людей от принадлежности поколению. Предположение о линейном приращении роста от поколения к поколению было опровергнуто статистикой. На этом основании функция взаимосвязи роста людей с их по-

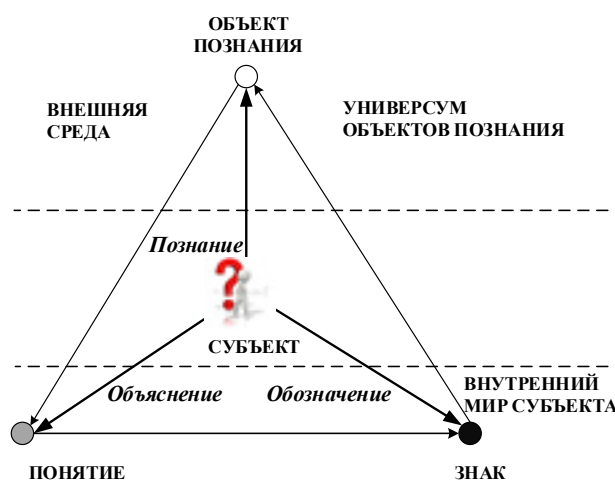


Рисунок 1 – Модель формирования понятия

лением была названа функцией регрессии, поскольку рост линейно не прогрессировал. В дальнейшем этот термин был распространён на любую взаимосвязь факторов, в том числе не имеющих отношения к регрессу. Замена термина *функция регрессии* на обобщающий термин *функция взаимосвязи* вполне допустима, в то время как обратная замена влечёт ложное понимание термина. Пренебрежение категорией общности понятия является частой ошибкой в ОМ. В противоположность ложно-ориентирующему термину правильно-ориентирующий термин отражает смысл определения понятия, что способствует правильному использованию этого термина. Термины, включающие фамилию автора понятия, с точки зрения познавательной функции называются нейтральными [9]. Они рассчитаны на запоминание, что ложится дополнительной нагрузкой на память.

На выбор подходящего термина влияет не только обозначаемый им смысл, но и категория общности. Термин, относящийся к более высокой категории общности, может быть применён для обозначения частного понятия. Недостатком такого применения является недостаточная конкретность. Применение конкретного термина для обозначения более общего понятия влечёт ложные ассоциации. Примером является рассмотренный выше термин *функция регрессии*.

Качество отношений между понятиями оценивается на предмет возможности их применения к тому или иному типу ОМ. Отношения между понятиями делятся на *абстрактные* и *предметные*. К абстрактным отношениям относят независящие от предметного смысла пары: род-вид, целое-часть, класс-элемент, причина-следствие.

Родо-видовое отношение применяется в иерархической классификации родового понятия. Родовое понятие последовательно сужается по объёму в видовые понятия с применением конкретизирующих оснований деления. Примером может служить конкретизация *места проживания*: страна, регион, город, улица, дом, квартира.

В сетевых моделях понятий наряду с видовыми формируются *межвидовые* понятия, полученные по *разным* основаниям деления [10]. Если устойчивость объекта разделить на *пассивную* и *активную* устойчивость по способу её реализации, и на *физическую* и *информационную* устойчивость относительно природы объекта, то примером межвидового понятия является *пассивная физическая* устойчивость. Таким видом устойчивости обладает, например, корпус ледокола.

Отношение *целое-часть* применяется в сборочных моделях.

Отношение *класс-элемент* применяется при конкретизации модели-прототипа исходными данными.

Отношение *причина-следствие* конкретизируется в отношении *исток-сток* в блок-схемах.

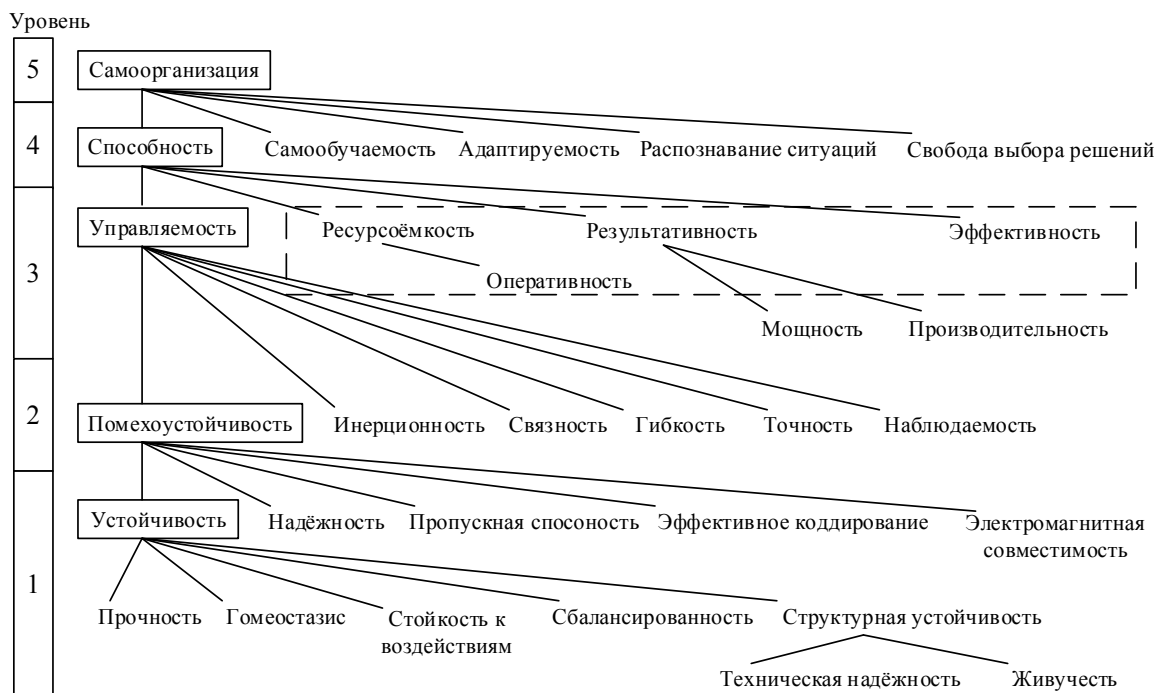
К наиболее общим предметным предикатам принадлежат: *быть* (англ. to be) и *делать* (англ. to do). На основе глагола *быть* формируются атрибутивные отношения (объект *есть* быстрый, экономичный и т.п.). На основе переходного глагола *делать* формируются субъект-объектные отношения (кто *делает* что). Отсюда следуют одноместный предикат *быть* ( $x$ ) и двухместный предикат *делать* ( $x, y$ ). Эти отношения используются в ER-диаграммах баз данных. Они конкретизируются по предметному смыслу в семантических сетях и когнитивных картах.

## 2 Анализ онтологической модели качества систем с управлением

На основании требований, предъявляемых к качеству моделей, оценим качество ОМ, предложенной в работе [6]. Эта модель актуальна в связи с постоянным усложнением управленческих функций современных систем. Она особенно востребована на этапе проектирова-

ния сложных технических объектов. В нормальных условиях их функционирования ставится задача максимального облегчения труда человека. В условиях функционирования в агрессивной среде, например, в военных условиях, ставится задача минимального участия человека в их управлении. С экономической точки зрения представляет интерес распределение затрат на реализацию различных управленческих функций.

Приняв самоорганизацию за высший уровень управления, авторы работы предложили шкалу уровней качества систем с управлением, «проранжированных в порядке возрастания сложности рассматриваемых свойств. Эмпирические уровни качества получили следующие названия: *устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, способность, самоорганизация*» (рисунок 2).



Ри-  
сунк 2 – Шкала уровней качества и дерево свойств системы с управлением

На основе этих уровней качества предложена систематизация свойств систем с управлением. Она представляет собой вариант онтологии управленческих функций.

Начнём анализ предложенной шкалы с её названия. В словосочетании *качество систем с управлением* слово *система* не несёт конкретной смысловой нагрузки. Здесь слово *качество* непосредственно относится к управлению, поскольку другие свойства системы не упоминаются.

Естественно, что объекты с разным уровнем самоорганизации характеризуются различными совокупностями свойств управления, отражающими степень участия человека. Насколько сравнимы по качеству управления, например, такие двухколёсные транспорты как велосипед и электросамокат? Равновесием велосипеда управляет человек, а равновесие электросамоката поддерживается автоматически.

Показатель качества должен давать ответ на вопрос, «в какой степени рассматриваемый объект обладает свойством (способностью) удовлетворять потребность потребителя? Но от велосипеда невозможно требовать автоматического поддержания равновесия, поскольку ему *не придаётся* это свойство. Следовательно, эти два вида транспорта *не сопоставимы* по качеству управления.



За основу линейного упорядочения делений предлагаемой шкалы её авторы приняли «сложность рассматриваемых свойств». Но такого понятия, как *сложность свойства*, не существует. Понятием *сложность* характеризуются системы. Их оценивают такими видами сложности, как информационная, структурная, функциональная (алгоритмическая) сложность. Например, для сравнения алгоритмов одного назначения рассчитывают асимптотические оценки алгоритмической сложности.

Примером неправомерного сопоставления свойств объектов по сложности является утверждение: «Более сложным свойством, чем устойчивость, является помехоустойчивость, понимаемая как способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки». Как можно сопоставлять по сложности даже такие однородные понятия, как *устойчивость* и *помехоустойчивость*, если они имеют разные категории общности? В то время как свойство *устойчивость* применимо к объектам любой природы (материальной, энергетической и информационной), свойством *помехоустойчивости* обладают только информационные объекты. Формулируя отношения между свойствами, авторы на самом деле имеют в виду сложность их реализации. Но как доказать, что обеспечение помехоустойчивости информационного объекта сложнее, чем обеспечение устойчивости энергетического объекта к воздействиям окружающей среды?

Несопоставимость по категории общности присуща и другим понятиям, принятым за деления шкалы качества. В обоснование градации качества *способность* она определяется как «потенциальная эффективность функционирования системы, способность получить требуемый результат при идеальном способе использования ресурсов и в отсутствие воздействий внешней среды». Однако понятие *способность* является слишком общим, чтобы им обозначать градацию качества. В частности, способность принято относить и к природным свойствам личности (математические, музыкальные и другие способности). Но они не имеют никакого отношения к характеристике систем с управлением.

В теории управления *управляемость* и *устойчивость* рассматриваются как взаимосвязанные свойства объекта. Управляемость объекта обозначает его свойство воспринимать *управляющие воздействия* органа управления (по переводу объекта из одного состояния в другое), а устойчивость означает свойство объекта *сохранять* заданные параметры функционирования при внутренних или внешних воздействиях на него. Эти понятия имеют разное назначение и степень общности, и их использование для обозначения разных делений шкалы качества выглядит необоснованным.

Согласно [6] «наиболее сложным качеством системы является самоорганизация». Словосочетание *наиболее сложное качество* соответствует высшей градации шкалы, деления которой упорядочены по *сложности свойств*, но противоречит градации *высокое качество*, принятой в квалиметрии. На самом деле, имеется в виду *наивысший уровень управления*, присущий самоорганизующейся системе, которая «способна изменять свою структуру, параметры, алгоритмы функционирования, поведение для повышения эффективности».

Каждая градация шкалы качества раскрывается через иерархию «более простых» свойств. Самоорганизация раскрывается через такие присущие ей свойства как «свобода выбора решений, адаптируемость, самообучаемость, способность к распознаванию ситуаций». Эти свойства действительно можно использовать в перечислительном определении понятия *самоорганизация*, хотя требуется доказать его полноту.

Необоснованным выглядит раскрытие последующих градаций шкалы качества. В частности, утверждается, что «помехоустойчивость объединяет ряд свойств, присущих в основном системам управления, таких как *надежность* информационных систем и систем связи, их *пропускная способность*, возможность эффективного *кодирования/декодирования* информации, *электромагнитная совместимость* радиоэлектронных средств и т.д.». Из перечис-

ленных свойств только *кодирование/декодирование* имеет прямое отношение к помехоустойчивости, как средству обеспечения надёжности при передаче информации.

Столь же необоснованным выглядит раскрытие градации устойчивость, «объединяющей такие свойства, как прочность, стойкость к внешним воздействиям, сбалансированность, стабильность, гомеостазис». Из них только *гомеостазис* имеет прямое отношение к системам с управлением. Прочность и стойкость к внешним воздействиям относятся к физическим свойствам объекта. Стабильность является фактическим синонимом устойчивости, а сбалансированность близка по смыслу равновесию (гомеостазису).

Исходя из требований к качеству ОМ, сформулированных в предыдущем разделе, отметим основные недостатки рассматриваемой модели.

- В основу шкалы уровней качества положен искусственный признак сложность свойства. Деление свойств на сложные и простые противоречит самому понятию свойство (то, что неотъемлемо принадлежит объекту). Свойства могут находиться в отношении цель-средство, либо в причинно-следственном отношении. Например, самообучение объекта не является самоцелью. Оно востребовано для его развития, которое, в свою очередь, обеспечивает возможность предвидения ситуаций, делая объект проактивным [11].
- Употребляемые в модели термины в отсутствие обоснованных определений играют роль знаков, обозначающих некоторые понятия, соответствующие эвристическим принципам формируемой модели. Используемая узкодисциплинарная трактовка понятий противоречит сути междисциплинарной модели, требующей применения обобщающих понятий (Umbrella terms). В отсутствие деления понятий по категориям общности имеют место противоречия между их содержаниями.
- Не установлены обоснованные отношения между понятиями, как в шкале уровней качества, так и в «дереве свойств системы с управлением», что является одним из следствий их произвольной трактовки.
- Шкала уровней качества не отвечает требованию классификации систем с управлением по качеству, поскольку они могут обладать свойствами, присущими разным градациям. Например, система может обладать как управляемостью, так и устойчивостью, отвечая сразу двум градациям качества.
- Согласно отмеченным недостаткам рассматриваемая ОМ не отвечает системным требованиям полноты и непротиворечивости. Рассчитанная на человеческое восприятие она не объективизирует знание в области управления и качества, а создаёт предпосылки для субъективных трактовок.

### 3 Анализ ключевых понятий модели качества управления

#### 3.1. Устойчивость системы

В самом общем смысле быть устойчивым – значит устоять в своих устремлениях при воздействии различных факторов. В этом смысле в качестве общей категории для всех частных понятий определим *устойчивость* как *способность объекта реализовывать свои целевые функции в условиях изменения внутренней и внешней среды*.

Объект устойчив до тех пор пока неизменны его целевые функции.

В условиях предсказуемых (расчётных) изменений внутренней и внешней среды устойчивость конкретизируется в *равновесие* (гомеостазис) системы. Это свойство реализуется средствами автоматического регулирования.

В условиях непредсказуемых изменений внутренней и внешней среды устойчивость конкретизируется в *приспособляемость*. Приспособление (адаптация) системы осуществля-

ется, прежде всего, за счёт накопления соответствующего опыта. На его основе принимается решение об изменении параметров либо структуры объекта, адекватном происходящим изменениям среды.

При длительном периоде функционирования самоорганизующаяся система обобщает полученный опыт в знание более высокого уровня. Это позволяет ей предвидеть грядущие изменения и последствия выбора пути развития. Устойчивость, обеспечиваемая на основе *предвидения*, характеризует более высокий уровень самоорганизации системы. Это свойство позволяет *упреждать* своими действиями возможный ущерб, который могут принести потенциальные изменения внутренней и внешней среды.

Высший уровень устойчивости обеспечивается за счёт *выбора оптимального пути* развития системы в точке ветвления. Система устойчива, если самостоятельно может выбрать наиболее предпочтительный путь развития в условиях действия на неё различных притягателей (аттракторов). А это осуществимо, если система обладает достаточным знанием для анализа полезности исходов выбора и ресурсами для его реализации.

Различают следующие виды устойчивости, конкретизируемые по отношению к различным воздействиям:

**Стойкость** – устойчивость к физическим воздействиям.

**Отказоустойчивость** – устойчивость к заданным видам отказов.

**Помехоустойчивость** – устойчивость к заданным видам помех.

**Надёжность** – устойчивость функционирования в течение некоторого срока, например, гарантийного срока.

**Живучесть** – устойчивость функционирования в условиях агрессивных воздействий внешней среды.

По средствам обеспечения устойчивости её делят на *пассивную* и *активную*. Под пассивной устойчивостью (в медицине – резистентностью) понимают *естественную сопротивляемость объекта внутренним и внешним воздействиям*.

Примеры:

- жировая прослойка и волосяной покров у животных (от холода);
- прочность и толщина корпуса изделия (от механических воздействий);
- двойной корпус судна для обеспечения живучести.

Под активной устойчивостью понимают *изменение состояние объекта с целью парирования воздействия внутренних и внешних факторов*.

Примеры:

- активация эндокринной системы (выработка гормонов) под управлением нервной системы у животных в ответ на нарушение равновесия организма;
- приспособление (адаптация) технического объекта к изменению состояния внутренней и/или внешней среды путём *изменения его параметров и структуры*.

### 3.2. Управление

Во введении указано наличие двух порочных циклов в определении этого понятия в [3]. На основе анализа всех определений этой работы, относящихся к понятию управления, в работе [8] было предложено следующее определение: *управление – это выработка и осуществление воздействий одного объекта (субъекта управления) на другой объект (объект управления), предназначенных для поддержания его устойчивости и развития*.

Общий принцип управления, основанный на наличии обратной связи между объектом и субъектом управления, неявно присутствует в данном определении, ибо поддержание равновесия и развитие объекта управления немыслимо без отслеживания его текущего состояния и реагирования на его отклонения от нормы.

Предложенное определение применимо к любым, как к содержательным, так и формальным моделям управления. Конкретизируемые на основе этого определения содержательные модели не ограничиваются системами автоматического регулирования, а возможные теоретические подходы – их теорией. Это особенно важно для современного этапа развития теории управления, реализующей наряду с принципами кибернетики первого порядка принципы кибернетики второго и третьего порядка [12].

Словосочетание *поддержание устойчивости* в определении управления характеризует отношение пары понятий *устойчивость-управление* как цель-средство. Действительно, активная устойчивость немыслима без подсистемы управления, а динамика внутренней и внешней среды диктует необходимость постоянного *развития* подсистемы управления.

### 3.3. Самоорганизация

Термин *самоорганизующаяся система* ввёл У. Эшби в 1947 году [13]. Он определил её как *сложную динамическую систему, способную при изменении внешних или внутренних условий её функционирования и развития **сохранять и совершенствовать** свою организацию с учётом прошлого опыта.*

Определение самоорганизации, предложенное У. Эшби, психиатра по образованию, применимо, прежде всего, к объектам живой природы. С тех пор самоорганизация изучалась применительно к системам различной природы и на основе различных подходов с применением терминологии соответствующих научных дисциплин (теории информации, термодинамики, теоретической кибернетики, теории игр, нейрофизиологии, биологии). В частности, синергетический подход Г. Хакена, определившего «самоорганизацию как процесс упорядочения (пространственного, временного или пространственно-временного) в открытой системе, за счёт согласованного взаимодействия множества элементов, её составляющих» [14] применим и к объектам неживой природы. Заметим, что в неживой природе «согласованное взаимодействие множества её элементов», лишённых разума, является результатом *воздействия* внешних обстоятельств, а не самоуправления.

В настоящее время широкое использование компьютеров в сфере управления делает актуальной задачу определения меры самоорганизации систем, имеющих искусственное происхождение [15]. В этом аспекте сравнение определений управления и самоорганизации позволяет выделить в них общие существенные признаки. К ним относятся: *поддержание устойчивости и развития* в определении управления и *сохранение, и совершенствование своей организации* в определении самоорганизации.

Очевидно сходство понятий *устойчивости* и *сохранения своей организации*. А *совершенствование организации* является результатом её *развития*. Такое сопоставление понятий управления и самоорганизации по их определениям позволяет судить об однородности этих понятий. Поскольку понятие *самоорганизация* имеет смысл самоуправления, его следует считать альтернативой внешнему управлению, т.е. видовым по отношению к более общему понятию *управление*.

### 3.4. Сложность свойства

Это словосочетание было привлечено авторами работы [6] для упорядочения систем с управлением по качеству. Поскольку это понятие выдвинуто впервые, рассмотрим составляющие этого словосочетания. Свойство – это то, что присуще какому-либо предмету и характеризует его самого по себе, а не говорит о его отношении к некоторым другим предметам. Именно поэтому в логике свойство представляется одноместным предикатом. Сложность – количественная характеристика. А, следовательно, о какой сложности *одноместного* пред-

ката может идти речь? Он представляет собой *качественную* характеристику объекта. К количественной характеристике следует отнести меру обладания объектом некоторым свойством, т.е. величину характеризующего его показателя. В силу отмеченного несоответствия реальности словосочетание *сложность свойства* не может использоваться для измерения качества систем с управлением.

### 3.5. Измерение и оценивание

Под *измерением* понимается операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта, процесса, явления ставит в соответствие определённое обозначение: символ, номер или число [16]. Измеренная физическая величина определяется числом единиц соответствующей шкалы. Например, расход бензина на 100 км автомобилем Passat 1997 года выпуска представим одноместным предикатом *Расход бензина (Passat 1997)=10*.

Под *оцениванием* (англ. assessment) понимается процесс вынесения суждения о некотором объекте. Согласно корню этого слова имеется в виду *ценность* этого объекта относительно предъявляемых к нему требований или по отношению к другим объектам. Иными словами, *ценность* объекта может быть определена только по отношению к некоторой норме. Следовательно, оценка свойства объекта описывается двухместным предикатом.

Применительно к приведённому примеру мы не можем сказать, приемлем ли на сегодняшний день расход 10 литров бензина на 100 км, поскольку не знаем с чем сравнивать. Узнав, что средний расход бензина на 100 км у современных автомобилей этой серии составляет 6 литров, мы можем оценить ценность автомобиля Passat 1997 года выпуска предикатом *Меньше или равно (x, 6) = Меньше или равно (Расход бензина (Passat 1997), 6) = 0*. Нулём обозначено ложное значение этого предиката, что означает неэкономичность автомобиля по этому показателю качества.

В связи с этим отметим путаницу в понятиях *показатель* и *критерий*, имеющую место во многих работах. Показатель, подлежащий оцениванию, не является критерием до тех пор, пока не предъявлено требование к его значению. Это утверждение формализовано в работе [16]. В этом смысле показателем пример определения понятия *качество управления предприятием*, сформулированного в работе [17]. Под ним понимается «совокупность свойств, определяющих возможность создания надлежащих условий для эффективного функционирования, развития и обеспечения конкурентоспособности предприятия путём выбора и комбинирования средств воздействия на определённые факторы внутренней и внешней среды». Но сами по себе свойства не определяют качество управления. К ним должны быть предъявлены требования. Эту особенность отражает следующее определение с опущенными пояснениями: «совокупность свойств системы управления предприятием, обеспечивающих его *эффективное* функционирование и развитие». В нём косвенно указаны требования к управленческим функциям. Остаётся только конкретизировать эти требования с точки зрения *эффективного* функционирования и развития предприятия.

## 4 Упорядочение объектов по уровням активной устойчивости

Модель, предложенная в работе [6], претендует на классификацию систем с управлением. Согласно этой цели из модели следует исключить все понятия, не имеющие прямого отношения к управленческим функциям. Это, прежде всего, касается устойчивости системы к воздействию различных факторов, как цели, а не средства управления, тем более что *пассивная* устойчивость закладывается создателем системы и не является объектом управления. Как следствие этого утверждения из модели следует вывести все понятия, относящиеся к

пассивной устойчивости. К ним относятся, в частности, такие свойства системы как прочность и стойкость к воздействиям.

Целью управления является обеспечение *активной устойчивости* объекта, к которой *управленческие* функции находятся в отношении *цель – средство*. В зависимости от вида применяемых управленческих функций и обеспечивается соответствующий им уровень устойчивости системы по отношению к внутренним и внешним воздействиям. Таким образом, упорядочивая системы с управлением по уровням *активной* устойчивости, мы тем самым упорядочиваем и соответствующие им средства управления.

Очевидно, что каждое очередное средство управления, встраиваемое в объект, освобождает внешний субъект управления от выполнения соответствующей управленческой функции. Отсюда следует, что упорядочению систем с управлением по уровням активной устойчивости соответствует их упорядочению по независимости от внешнего управления. Чем больше средств управления встроено в объект, тем выше самостоятельность его функционирования и больше независимость от внешнего управления, что согласуется с принципом *внешнего дополнения*, выдвинутого С. Биром [18]. Здесь роль внешнего дополнения по отношению к системе с управлением играет внешнее управление.

По возрастанию уровня активной устойчивости свойства систем с управлением упорядочиваются следующим образом: *равновесность, адаптируемость, проактивность, самоорганизация, самостоятельность (автономия)*. Каждое последующее свойство расширяет возможности применения предыдущих свойств.

Обеспечение *равновесного* состояния (гомеостаза) объекта является первичной целью управления. Оно обеспечивается средствами автоматического регулирования, предназначенными для устранения отклонений от расчётных значений параметров. Для обеспечения устойчивого функционирования объекта в условиях широкого диапазона воздействий внутренней и внешней среды предусматриваются средства *приспособления* (адаптации) к этим воздействиям. Приспособление к новым условиям функционирования осуществляется за счёт изменения параметров или структуры объекта.

*Проактивность* объекта является альтернативой его реактивности. Реагированию на очередное изменение среды противопоставляется предвидение её будущего состояния с целью упреждения неблагоприятных последствий.

*Самоорганизация* в соответствии с её определением предполагает совершенствование функционирования объекта с учётом прошлого опыта. Совершенствование является результатом развития, а развитие связано с *выбором* наиболее благоприятного варианта функционирования объекта. Таким образом, существенной особенностью самоорганизующейся системы является её способность к выбору пути развития. Здесь важно отметить, что цель функционирования объекта задаётся извне, а его самостоятельность проявляется только в способах достижения цели. Технический объект, не способный изменить цель своего функционирования, остаётся подконтрольным человеку.

В этом смысле *самостоятельность (автономия)* объекта представляет собой наибольшую свободу от внешнего управления. Она характеризуется способностью объекта формулировать собственную цель для наиболее благоприятного функционирования в изменяющейся среде. Таким свойством могут обладать организационные и социальные системы. Обладание этим свойством техническим объектом представляет опасность для человека, поскольку их цели могут оказаться несовместимыми.

Следует подчеркнуть, что резкой границы между рассмотренными уровнями активной устойчивости объектов не существует. Каждое из свойств может постепенно переходить в следующее свойство. Иными словами, следует иметь в виду промежуточные уровни активной устойчивости. Они обуславливаются общностью таких вспомогательных свойств, как

самообучение, влекущее накопление опыта, прогнозирование будущего состояния среды и объекта на основе накопленного опыта и способность к выбору. Вспомогательные свойства могут быть привлечены для формулирования промежуточных градаций уровней устойчивости систем с управлением и соответствующих им управленческих функций.

Предлагаемое упорядочение объектов по уровням обеспечения активной устойчивости позволяет обосновать выбор способа управления объектом в зависимости от условий его функционирования. Поскольку обеспечение каждого последующего уровня дороже предыдущего, для простых условий функционирования оказывается приемлемым объект, обладающий минимальным уровнем устойчивости.

Качество систем с управлением должно оцениваться в рамках каждого уровня устойчивости на основе одинаковой совокупности показателей и предъявляемых к ним требований.

## **Заключение**

Основной ошибкой, встречающейся в междисциплинарных ОМ, является трактовка используемых в них понятий в рамках специальных дисциплин. Аналогом в арифметике является попытка выполнения сложения без приведения дробей к общему знаменателю. Между тем, каждая теория имеет свою аксиоматику, по существу, представляющую собой систему ограничений. При использовании понятий, применяемых в разных теориях, возникает несовместимость характеризующих их существенных признаков. Неоднозначная трактовка понятий влечёт установление ошибочных связей между ними.

Решению проблемы способствует применение теоремы Гёделя о неполноте, предлагающей обращаться к внешней (мета) теории. Таковой теорией для специальных дисциплин служит системный анализ, а для разделов математики – математическая логика.

Исходная информация, используемая для формирования ОМ, содержится в определении применяемых в ней понятий. От качества определений зависит качество ОМ. Понятия, применяемые в междисциплинарной ОМ должны иметь наддисциплинарный характер. Это означает, что существенные признаки, содержащиеся в их определениях, должны сводиться к признакам, содержащимся в узкодисциплинарных определениях понятий или, по крайней мере, не противоречить им, поскольку все обобщения проверяются на частных примерах.

Показательным примером междисциплинарной ОМ является самоорганизующаяся система, изучаемая различными дисциплинами. Даже в рамках только технического подхода к созданию ОМ самоорганизующейся системы были допущены ошибки, проистекающие из узкодисциплинарных трактовок понятий и усугублённые неправильным выбором отношений между ними. Неправильно составленная ОМ не только противоречит конкретным фактам, но и влечёт ошибки при её практическом применении.

В работе предложен не претендующий на полноту подход к созданию ОМ управления верхнего уровня, основанный на обобщённых определениях понятий и обоснованном отношении между ними. Учитывая обобщённый характер определений, они могут конкретизироваться под аксиоматику специальных дисциплин.

## **Благодарности**

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ №№ 17-01-00139, госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Заболотский, М.А.** Когнитивное моделирование – уникальный инструмент для анализа и управления сложными системами (регион, отрасль промышленности, крупное предприятие) / М.А. Заболотский, И.А. Полякова, А.В. Тихонин // *Успехи современного естествознания*. – 2005. – № 2. – С. 28-28.
- [2] **Поспелов, Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. – М.: Энергия, 1981. – 231 с.
- [3] Теория управления. Терминология. Сборник рекомендуемых терминов. Выпуск 107. – М.: Наука. 1988.
- [4] **Микони, С.В.** Проблемы современной русской терминологии / С.В. Микони // *Онтология проектирования*. – 2015. – Том 5. №4(18). – С. 472-484. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-472-484.
- [5] **Колесов, В.В.** Культура речи – культура поведения / В.В. Колесов. – Л.: Лениздат, 1988. – 272 с.
- [6] **Анфилатов, В.С.** Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.Л. Емельянов, А.А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика. 2002. – 367 с.
- [7] **Соколов Б.В.** Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодальных комплексов / Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов // *Известия РАН. Теория и системы управления*. – 2004, №6, – С. 5-16.
- [8] **Микони, С.В.** Формализация определений понятий как условие повышения качества содержательных моделей / С.В. Микони // *Сборник докладов XX Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2017)*. 24-26.05.2017. – СПб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ). 2017. – С. 19-22.
- [9] **Лотте, Д.С.** Основы построения научно-технической терминологии / Д.С. Лотте. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 157 с.
- [10] **Микони, С.В.** Общие диагностические базы знаний вычислительных систем / С.В. Микони. – СПб.: СПИ-ИРАН. 1992. – 234 с.
- [11] **Охтилев, М.Ю.** Концепция проактивного управления сложными объектами: теоретические и технологические основы / М. Ю. Охтилев, Н. Г. Мустафин, В. Е. Миллер, Б.В. Соколов // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2014. Т. 57, № 11. – С. 7-15.
- [12] **Лепский, В.Е.** Эволюция представлений об управлении (методологический и философский анализ) / В.Е. Лепский. – М.: «Когито-Центр», 2015. – 107 с.
- [13] **Ashby W.R.** Principles of self-organizing dynamic system. *J. Gen. Psychology*. 1947. v. 37. p.125–128.
- [14] **Хакен Г.** Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хаккен. – М.: Мир. 1985. – 424 с.
- [15] **Кузнецова, В.Л.** Самоорганизация в технических системах / В.Л. Кузнецова, М.А. Раков. – Киев: Наукова думка. 1987. – 196 с.
- [16] **Микони, С.В.** Теория принятия управленческих решений / С.В. Микони. - СПб.: Лань, 2015. – 448 с.
- [17] **Винокуров В.** Качество управления как фактор укрепления рыночных позиций предприятия / В. Винокуров, А. Винокуров // *Стандарты и качество*. 2005. № 12. – С. 38-46.
- [18] **Бир С.** Кибернетика и управление производством / С. Бир. – М.: Физматгиз. 1963. – 275 с.

## ON THE QUALITY OF ONTOLOGICAL MODELS

S.V. Mikoni

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

## Abstract

Factors affecting the quality of ontological models are discussed. General requirements to their quality are formulated. The dependence of the quality of the model on the quality of the definitions of the concepts entering into it is indicated. The role of the cognizing subject in the Frege triangle is formalized. The proximity of the meaning of the word to the image is created by the synergetic effect of a correct understanding of the concept. Hence follows the importance of the primary use of the words of the national language to denote concepts. Examples of false-oriented terms are given. The ontological model of the quality of systems with control is analyzed. As the main drawback of the model, the incompatibility of narrowly disciplined definitions of concepts in an interdisciplinary model was noted. Definitions of generalizing concepts are proposed. On their basis, a scale of active stability of systems with control has been developed.



**Key words:** the quality of the model, the definition of the concept, a system with management, the concepts of disciplinary, interdisciplinary, umbrella term, sustainability, self-organization.

**Citation:** Mikoni SV. On the quality of ontological models. *Ontology of Designing*. 2017; 7(3): 347-360. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.

## References

- [1] **Zabolotskii MA., Polyakova IA., Tihonin AV.** Cognitive modeling is a unique tool for the analysis and management of complex systems (region, industry, large enterprise) [In Russian]. The success of modern science. [Uspehi sovremennogo estestvoznaniya]. 2005. N2. P.28-28.
- [2] **Pospelov DA.** Logico-linguistic models in control systems [In Russian] – M. Energiya, 1981. –231 p.
- [3] Control Theory. Terminology. Collection of recommended terms. Issue 107 [In Russian]. – M. Nauka. 1988.
- [4] **Mikoni SV.** Problems of modern Russian terminology [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2015; 5(4): 472-484. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-472-484.
- [5] **Kolesov VV.** The culture of speech is the culture of behavior [In Russian]. – Leningrad: Lenizdat, 1988. - 272 p.
- [6] **Anfilatov VS., Emelyanov AL., Kukushkin AA.** System analysis in management [In Russian]. – M. Finance & statistic. 2002. – 367 p.
- [7] **Sokolov BV., Yusupov RM.** Conceptual bases of assessment and analysis of the quality of models and multimodal complexes [In Russian]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemi upravleniya*, 2004, N6, P.5-16.
- [8] **Mikoni SV.** Formalization of definitions of concepts as a condition for improving the quality of content models [In Russian]. Proceedings of the XX International Conference on Soft Computing and Measurements. SCM-2017. 24-26.05.2017. – SPb.: SPbGETU (LETI). 2017. P.19-22.
- [9] **Lotte DS.** Bases of creation of scientific and technical terminology [In Russian] – M.: Izd-vo AS USSR, 1961. – 157 p.
- [10] **Mikoni SV.** General diagnostic knowledge bases of computer systems [In Russian] – SPb.: SPIIRAS. 1992. – 234 p.
- [11] **Ohtilev MYu, Mustafin NG., Miller VE., Sokolov BV.** The concept of proactive management of complex objects: theoretical and technological basis [In Russian]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2014; 57(11): 7-15.
- [12] **Lepskii VE.** Evolution of ideas about control (methodological and philosophical analysis) [In Russian] –M.: «Kogito\_Centr», 2015. – 107 p.
- [13] **Ashby WR.** Principles of self-organizing dynamic system. *J. Gen. Psychology*. 1947. v. 37. P.125–128.
- [14] **Haken H.** Advanced Synergetics; Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices. Berlin: Springer-Verlag; 1993. pp. 321–2.
- [15] **Kuznecova VL. Rakov MA.** Self-organization in technical systems [In Russian]. – Kiev. Naukova dumka. – 196 p.
- [16] **Mikoni SV.** Theory of administrative decision making: A Tutorial [In Russian]. –SPb.: Lan', 2015. – 448 p.
- [17] **Vinokurov V., Vinokurov A.** Quality management as a factor in strengthening the market position of the enterprise [In Russian]. *Standarti & kachestvo*. 2005. № 12. P.38-46.
- [18] **Beer, S.** Cybernetics and Management. EUP, London. 1959.

## Сведения об авторах



**Микони Станислав Витальевич**, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994) ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке публикаций 287 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта.

**Mikoni Stanislav Vitalievich** (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992). Professor (1994). He is Russian Association of Artificial Intelligence member. He is author and co-author of more than 280 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematic, system analyses, artificial intelligence, decision making theory.

Индекс 29151

# 75 ЛЕТ САМАРСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SAMARA UNIVERSITY

От мечты к свершениям



1 октября 1942 года начались занятия в Куйбышевском авиационном институте (КуАИ) для первых 556 студентов - с этого дня берёт своё начало история ВУЗа. К концу 1942 года в институте обучались 767 студентов, работали 55 преподавателей.

Созданный в годы Великой Отечественной войны как центр подготовки инженерных кадров для предприятий авиационной отрасли, КуАИ начал образовательную деятельность с подготовки инженеров по самолетостроению и авиационному моторостроению. В годы войны в Куйбышев были эвакуированы десятки предприятий авиационной промышленности для производства самолетов и двигателей, и выпускники КуАИ стали основой инженерного корпуса этих заводов...

В последующем КуАИ превратился в крупнейший научно-образовательный центр подготовки специалистов для высокотехнологичных отраслей промышленности России - Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ). Мощным толчком к развитию стало объединение СГАУ и Самарского государственного университета.

Сегодня в национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева ведётся подготовка более 16500 студентов по 320 образовательным программам по различным направлениям и специальностям. В ВУЗе созданы новые институты и подразделения, успешно развивается международное сотрудничество (студенты обучаются из 60 стран). Самарский университет входит в глобальные мировые рейтинги и последовательно улучшает свои позиции. Самарский университет - это обучение через исследования и практику, это современные технологии и техническая оснащённость.



федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

*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