

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.82

DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211

Онтологическая система «знания-деятельность»

Н.В. Максимов, А.А. Лебедев*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Москва, Россия*

Аннотация

Рассматривается подход к построению онтологического описания рациональной деятельности. Подобное описание может служить дополнительным источником для входа в информационное пространство, расширяет класс возможных индексов для описания документов и позволяет осуществлять контекстный поиск. Рассмотрены назначение и особенности использования онтологий при описании предметной области, как с теоретической, так и с прикладной точки зрения. Обозначены критерии для выделения типов онтологий. Исходя из принципов схематизма познания, разработана система онтологий представления знаний, объединяющая язык, формы представления знаний и схемы процессов. Показано, что такая система онтологий даёт возможность практического использования онтологий в вычислительных средах. Для комплексного описания производственной (рациональной) деятельности представлены онтологии артефакта и процессов, разрабатываемые на основе анализа государственных и международных стандартов. Онтология артефакта представляет собой описание объекта – средства и результата целенаправленной деятельности, онтология процессов – формализованное описание жизненного цикла деятельности. С помощью онтологии артефакта становится возможным представить логическую структуру деятельности, а с помощью онтологии процессов – временную структуру, которые совместно определяют две стороны описания сложной деятельности. Предложенная онтология процессов включает иерархически связанную совокупность этапов жизненного цикла деятельности, объекты и субъекты деятельности каждого этапа и исполняет роль «навигационной карты» для субъектов деятельности, позволяя им ориентироваться в сложных организационных структурах.

Ключевые слова: онтология, знания, деятельность, онтология артефакта, онтология процессов.

Цитирование: Максимов, Н.В. Онтологическая система «знания - деятельность» / Н.В. Максимов, А.А. Лебедев // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №2(40). - С.185-211. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211.

Введение

Промышленность и наука характеризуются большим массивом накопленной информации по истории функционирования, решениям и их обоснованиям, технологиям и методикам работы и другой информации. Это приводит к изменению характера труда, изменению форм взаимодействий/взаимосвязей участников деятельности, росту числа элементов, образующих систему предприятия. Человек, как часть этой системы, ограничен в возможностях восприятия и обработки поступающих данных. Его возможности и следствия технического развития приводят к задачам унифицированного представления и описания имеющихся знаний в форме, удобной для восприятия и обработки, в т.ч. в вычислительной среде.

Новые стандарты предлагают переход от функциональных моделей к процессно-проектным моделям управления. Важную роль в таких моделях занимают вопросы управления знаниями, в частности, актуальными являются задачи улучшения поиска информации, в том числе за счёт учёта специфики деятельности и представления документации.

В этой связи перспективным направлением для построения унифицированного представления, учитывающего организационную и семантическую составляющую деятельности, является использование онтологий. Унификация здесь основывается на типизировании сущностей и отношений, а также на наблюдаемом схематизме процессов деятельности, обусловленном устойчивой тенденцией, отражаемой, в частности, разработкой отраслевых, государственных и международных стандартов, обобщающих передовой опыт. Онтологический подход к представлению семантики документов позволяет представить не только описываемый в них объект, но и процесс его получения в виде «контурной карты», на которой пользователь реализует траекторию поиска, причём целесообразность ключевых понятий для поиска обеспечивается за счёт визуализируемых путей между рассматриваемыми сущностями онтологии [1, 2].

Целью данной работы является определение онтологии, позволяющей осуществлять отражение знаний о действительности и служить инструментом и стимулом для их развития. Входящие в состав онтологии компоненты должны иметь практическую направленность, быть в достаточной степени универсальными и отражать принятые в различных предметных областях (ПрО) стандарты.

Переход к схематизированному, цельному, концептуализированному (онтологическому) описанию деятельности и перенос их содержания в вычислительную среду позволяет решать задачи в ПрО. В работе [3] отмечается, что «...опыт предприятия является ценным ресурсом, который требуется сохранять, развивать и передавать в наиболее удобной форме для специалистов предприятия. Система накопления опыта в виде нормативной документации имеет ряд существенных недостатков для повышения эффективности творческой деятельности...».

Использование онтологий для решения задач ситуационного управления предприятиями в режиме реального времени рассматривается в [4]. Автором предложено объединять отдельные онтологии, представляющие собой зафиксированные и концептуализированные знания субъектов деятельности (акторов) о своей ПрО. В итоге должна образоваться единая онтология деятельности предприятия, состав и структура которой может изменяться в реальном времени, что способствует своевременному информированию участников деятельности о возникших изменениях в процессах или возникших нештатных ситуациях.

Подход к построению единой теории комплексной деятельности представлен в [5], где деятельность рассматривается с точек зрения различных областей знаний: психологической теории деятельности, общей теории систем, теории организации и др. Указывается, что важными требованиями для обобщённой структурной модели комплексной деятельности являются её иерархичность (для отражения логической структуры) и фрактальность (для отражения временной структуры), а сложность деятельности заключается в проявлениях неопределённости и её преодолении.

Обобщённая функционально-ориентированная схема интегрированного процесса целенаправленной деятельности представлена в [6]. Эта модель – последовательность этапов, поддерживающих специфические работы, которая начинается с исследования и заканчивается производством и коммерциализацией. Каждый этап заканчивается целевым результатом и его оценкой. Графовое представление документов, учитывает не только их содержание, но и контекст, например, место и роль документа в жизненном цикле (ЖЦ) проекта [1].

Человеческое мышление ориентировано на использование специальной организации знаний об отношениях объектов реального мира в виде абстрактных схем. Разнообразие видов деятельности и ограниченность в восприятии и обработке приводят к необходимости унификации возможных схем и выработке стандартов для их представления. В статье рассмотрены: принципы формирования схем деятельности, связь схем с онтологическими моделями действительности, онтологическая модель процессов ЖЦ деятельности.

1 О схематизме деятельности и знаний

Упорядочение знаний даёт возможность устанавливать причинно-следственные связи, минимизирует длину причинно-следственных цепей. В частности, задача науки – поиск теорий, удовлетворяющих экспериментальным данным [7].

Одним из способов упорядочивания накопленных знаний субъектом является схема, которая задаёт связь между объектом и понятием. Согласно [8], Кант определяет схематизм как деятельность по соотношению объектов реального мира к мысленным категориям, представляющим собой формы пространственно-временных отношений. Схемы определяют правила синтеза воображения, благодаря схеме и подобно ей становятся возможными образы, но связываться с понятиями они всегда должны только при посредстве обозначаемых ими схем, и сами по себе они совпадают с понятиями не полностью. Рассмотрению роли схем как средства мышления субъекта посвящены работы Ж. Пиаже [9], в отечественной науке исследование роли схем и их связи с деятельностью представлено в работах Г. Щедровицкого и Московского методологического кружка [10]. Подробный анализ использования схем в когнитивных процессах приведён в [11].

Схемы выполняют несколько функций: помогают понять происходящее, организуют деятельность человека, собирают смыслы, способствуют выявлению новых объектов [12]. Структурные схемы «сжимают» содержание, выделяют причинно-следственные и функциональные связи. Схема отображает не форму, а отношения и действия предметов.

Нормативная документация организует деятельность, формируя для субъекта схему деятельности; схемы, организующая деятельность субъекта, сами становятся нормой.

Элементарная модель, иллюстрирующая схему рациональной деятельности и построенная на основе анализа нормативной документации и обобщения субъективного опыта, может быть представлена как продолжающиеся и повторяющиеся взаимодействия, а также обратные связи между ними. Функциональные блоки на каждой итерации имеют одинаковую структуру: получение исходного материала, управляемое параметрами выполнение целевой функции, оценка и передача результата.

Подобная схема, определяющая только базовые моменты, при применении в реальности дополняется конкретностью, позволяет заранее выявить условия возможных проблемных ситуаций, подобрать требуемую документацию, определить критерии успешного завершения цикла деятельности. Анализируя процессы конкретных предприятий и используемую на предприятии нормативную документацию, можно синтезировать на их основе схемы деятельности с различных точек зрения субъектов производства.

Графическая форма визуализации, характерная для схем, удобна для восприятия и позволяет находить взаимосвязи между объектами, обнаруживать совпадения между объектами и событиями, выявлять аномальные объекты. Онтологии могут играть роль предопределённой потенциальной траектории расширения поискового пространства и использоваться как шаблон для смежных тем проекта [1].

Рациональная деятельность включает в себя цели, результаты и средства их достижения. Субъект, вступая во взаимодействие с окружающей действительностью, используя инструментальные средства, работает с некоторым множеством объектов для достижения поставленной цели. «Поведение человека ... подразумевает какую-то цель. Человеческое стремление приписывать действиям и событиям смысл и цель подразумевает расчленённость реальности на некоторые условные сегменты ... Осмысление связано с сегментацией недискретного пространства» [13]. С этим коррелирует позиция В.В. Налимова: «Пространство, на котором заданы (существуют) смыслы, имеет физический характер, т.е. непрерывно, и должно допускать вариабельность. Таким образом, семантическое поле «проявляется» (а не членится) и фиксируется через задаваемую на нём величину (метрику)» [14].

Наличие цели, как объективизированной через свойства потребности, приводит к определению ограничений на результат. Наличие свойства ценности – к определению критерия достижимости цели. Наличие метрик выделенного семантического поля позволяет измерять и опосредованно сопоставлять величины, а также фиксировать события - контрольные точки, обеспечивающие возможность эффективного управления, в которых можно получать измеримые результаты для сравнения с заданными значениями. Отсюда следует, что деятельность может «разбиваться» на отдельные работы с отдельными множествами объектов и заканчивающиеся отдельными результатами.

Рациональная деятельность в своей основе имеет природу информационных взаимодействий: операционными объектами деятельности (управления) являются образы – информационные объекты со свойствами. «Проявление» семантического поля (выделение объектов, причинно-следственных связей, определение свойств) возможно, поскольку реальный мир преломляется сознанием субъекта на основе известных ему схем, путём «встраивания» получаемых данных в имеющиеся модели реальности, или их дополнение/перестраивание.

Особенностью деятельности в обществе является распределённость и неоднозначность смыслов (полисемия): объёмы и смыслы понятий у субъектов могут не совпадать, поскольку субъекты могут иметь разный контекст, опыт и мотивации. Условием успешности взаимодействия между субъектами является требование соотносимости множеств объектов, понятий и знаков, а также операций над элементами внутри и между множествами в сознаниях субъектов. Перенос знаний между субъектами происходит посредством языка, где объекты реального мира замещаются объектами знаковой природы, а схемы взаимодействий между реальными объектами заменяются схемами взаимодействий между знаками. Частным случаем переноса знаний являются процессы рефлексии и синтеза знаний внутри субъекта. Подобную соотносимость возможно обеспечить путём типизации и унификации используемых понятий, а также явного учёта контекста их использования.

2 Процессы и ЖЦ

Деятельность, как система, в своём развитии проходит через определённые состояния (фазы, стадии, этапы). Концепция ЖЦ представляет собой основной вариант реализации системного подхода к сложным техническим объектам, направленный на отображение измененных состояний этих объектов в некоторый период времени [15].

Рост стоимости производства приводит к задачам управления процессами как на отдельных этапах ЖЦ, так и в целом. Здесь онтологические модели выступают в роли инструмента интеграции разнородных знаний о процессах, ресурсах и объектах, задействованных на разных этапах производства:

- «...онтология позволяет не просто аккумулировать наши знания, а зафиксировать опыт так, чтобы была возможность реализации его представления в разных формах об объектах рассматриваемой ПрО, и зафиксировать так, чтобы этими знаниями мог воспользоваться и интерпретировать человек... и вычислительная техника...» [16];
- «...онтологии для управления знаниями предприятия на базе модели процессов предприятия позволяют сотрудникам одной отрасли или корпорации использовать общую терминологию и избежать взаимных недоразумений...» [17];
- «...энергетика - это та область, где необходимость онтологического моделирования является более чем очевидной...» [18].

Общий подход к процессному описанию ЖЦ систем, представленный в [19], специфицирует типы процессов: процессы соглашения, организационного обеспечения проекта, технического управления и технические процессы. Подобная классификация тесно связана с про-

стейшей моделью системы, где внешнему наблюдателю доступны только входные и выходные связи системы со средой. Высокий уровень абстракции модели этого стандарта, определяя широкие возможности для применения, позволяет свести многообразие возможных видов деятельности к ограниченному множеству объектов и отношений [20].

Для конкретных производств характерно наличие специфических процессов, полное знание которых доступно только специалистам. Отсюда возникает задача типизации разнородных процессов, что позволяет отразить как специфику ПрО, так и общий характер процессов. Например, процессы ЖЦ для программных средств (ПС), кроме процессов ЖЦ системы включают также специфические для данной области процессы реализации ПС, поддержки ПС и повторного применения ПС [21]. Процессы повторного применения ПС включают процессы проектирования доменов, менеджмента повторного применения активов и программ.

Единое описание общих и специализированных процессов ЖЦ должно опираться на нормативно-регламентирующую базу, описывающую данный вид деятельности, где каждый стандарт является онтологией некоторой ПрО.

Похожее решение предложено в [22]: «Каждый стандарт рассматривается как онтология соответствующей ПрО, являющаяся основой для автоматизированного решения ряда задач, включая информационное обслуживание сотрудников, формальную оценку соответствия предприятия этим стандартам и т.д... В основе системы формальных онтологий для предприятий рецептурного производства лежит формализация стандарта ISA-88, который представляется в виде системы онтологий».

Рассматривая деятельность на различных организационных масштабах с учётом цели и характера производимых работ, можно прийти к некоторой взаимосвязанной сети, позволяющей свести имеющееся разнообразие к конечному набору типовых элементов (рисунок 1).

Процеируя различные процессы и технологические операции на этот фиксированный базис, имеется возможность перейти к их типизированному и схематизированному описанию. На таком базисе можно отобразить любую рациональную деятельность по характеру и степени общности, и проследить её временную трансформацию.

Двигаясь снизу-вверх можно ответить на вопросы «что делать?», «когда делать?», «в каких процессах используется полученный результат?», «каков этап ЖЦ деятельности?», «каков вид деятельности?», «какой характер должен быть у полученного результата?». Появляется возможность для информационного поиска в производственной и проектной документации. Для ответа на вопросы «кто/что является объектом деятельности?», «кто/что является субъектом деятельности», «какими средствами осуществляется деятельность?», «что является результатом деятельности?», «что является целью деятельности?» можно использовать онтологию артефакта. Например, операция «подписать техническое задание» относится к процессам соглашения и может быть произведена на этапах замысла или разработки. При этом вид деятельности (если он не указан) необходимо определять по содержанию технического задания.

Использование стандартов позволяет отождествить каждый элемент с набором типовой лексики (*Заказчик, Исполнитель, План, Разработать, Утвердить, Подписать* и т.п.), сформировать тезаурус, который становится основой для автоматического соотнесения возникающей в ходе деятельности документации к этапам ЖЦ и исполнителям. Система выделенных понятий и отношений, к которым применены правила композиции, определённые согласно рисунку 1, образуют онтологию процессов.

Поскольку отдельные процессы в рамках деятельности также являют собой деятельность, очевидно, что онтологическое описание процессов ЖЦ деятельности будет представлять собой сложную конструкцию, где каждая из множества составляющих граф вершин может состоять из подмножества других вершин.

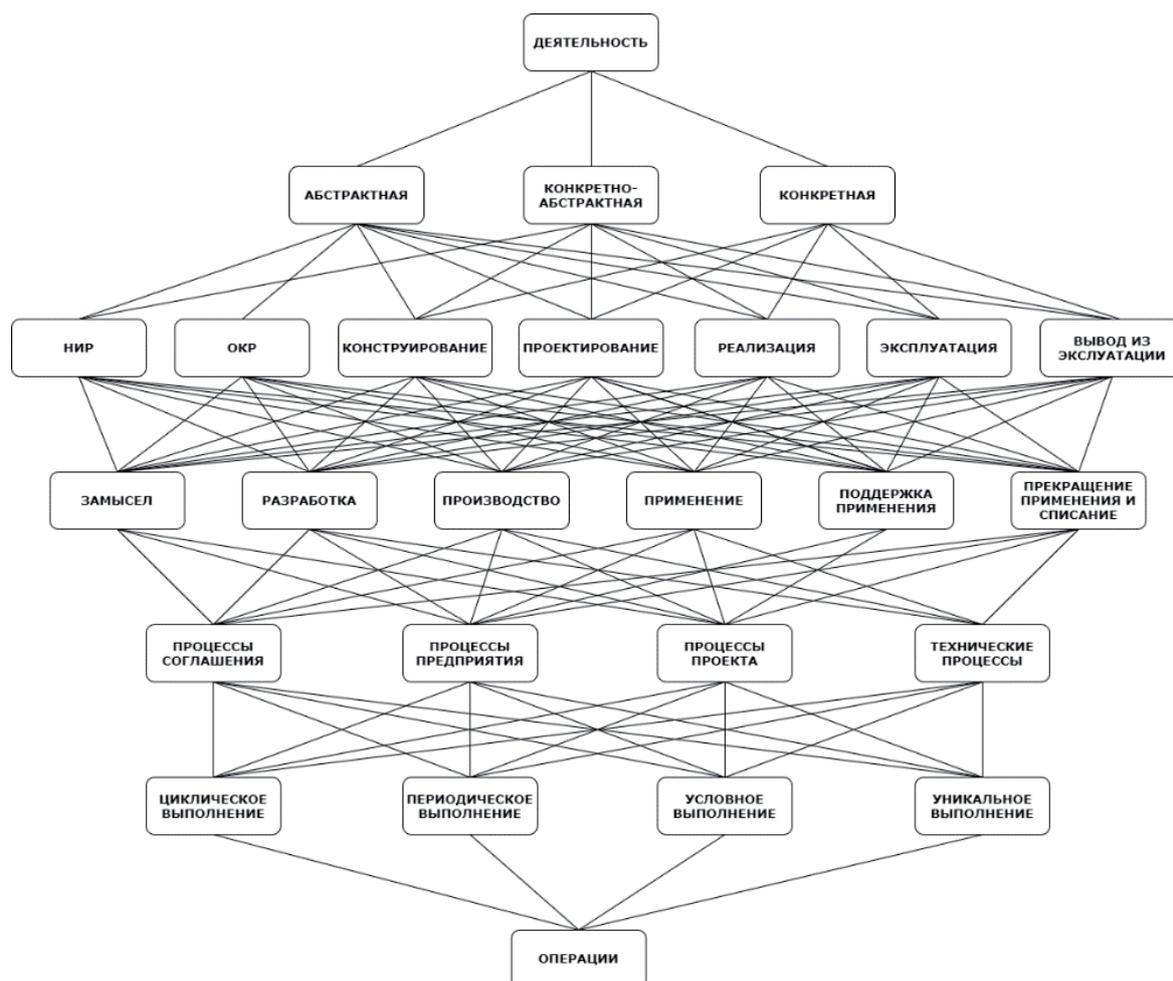


Рисунок 1 — Связь различных аспектов деятельности с точки зрения характера работ, цели и времени выполнения

В таком подходе, в отличие от модели, использующейся, например, в стандарте *Process Specification Language* [23] или онтологии бизнес-процессов *COBRA* [24], нет элементов, отвечающих за временные соотношения начала и окончания процессов (что было бы полезно для построения диаграмм Ганта или сетевых графиков).

3 Обобщённая онтологическая модель

Известны разные определения и типологии онтологий, обоснованность которых не всегда очевидна. Известны также практически значимые и долгоживущие проекты онтологий, в частности, *DOLCE*, *BFO*, *SUMO*, онтология *J.F. Sowa*. Чтобы конструктивно подойти к типологизации онтологий, необходимо явно постулировать их назначение, а также семантику и прагматику построения и применения. Это позволит выявить основные типологические признаки конкретных онто-продуктов и онто-конструкций.

- Онтология является «промежуточной» семантической формой, занимающей место между конструктивной теорией и описаниями на естественном языке, представляющими содержание этой теории.
- Онтология как концептуальный образ фрагментов действительности играет роль «принципиальной схемы», представляющей существо (смысл) фрагмента в базе понятий и отношений, соответствующих семантике ПрО.

- Фрагментом действительности (объектом онто-описания) может быть:
 - конкретная ситуация – состояние абстрактных или конкретных объектов и их поведение, связанные с целевой деятельностью субъекта;
 - абстрактно-конкретная понятийно-знаковая система, как инструмент познания.
- Онтология как структура, отражающая относительность и конструктивность знания, построена по схеме «язык-объект - метаязык», т.е. обязательно включает метакомпонент.
- Онтология является вторичным объектом и может использоваться как:
 - формализованный образ текста некоторого описания, обеспечивающий содержательный анализ, в частности, методами графов;
 - формализованный образ схемы навигации по понятиям и аспектам, дополняемым семантической окрестностью, формируемой при полнотекстовом семантическом поиске;
 - комбинаторное пространство для синтеза путей при поиске возможных зависимостей.

3.1 О типологии онтологий

Можно выделить следующие виды онтологий: прикладные онтологии, онтологии области знания, онтологии метауровня. В подходе, предложенном в [25], онтология - это наборы метаданных, идентифицирующие содержания ресурса и сервисов в нескольких аспектах: описание объектов, их свойств и отношений ПрО; описание задач и процессов, их свойств и отношений; описание атрибутов знания; описание причин и оценок использования, а также характеристики значимости контента и история обращений отдельного субъекта к информационным ресурсам.

В [26] в составе онтологии выделены следующие категории (типы объектов, представляемых онтологией): *Наблюдаемые объекты/Свойства, Типы задач, Знания/Гипотезы, Методы решения, Примеры решаемых задач.*

На рисунке 2 приведена систематизация онтологий по классификационным признакам: уровню представляемых знаний, масштабу применимости и средствам представления [27].

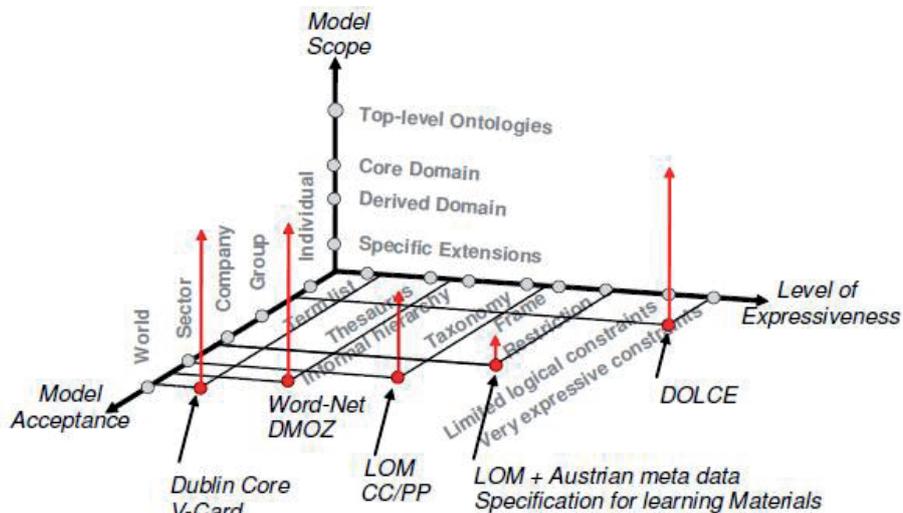


Рисунок 2 — Систематизация онтологий по уровню представляемых ими знаний (*scope*), масштабу применимости (*acceptance*), средствам представления (*expressivity*) [27]

Отдельно выделяют лингвистические онтологии (*WordNet*, *MikroKosmos*, *PyTез* и другие), фиксирующие понятия (слова и словосочетания) вместе с их языковыми свойствами и отношениями (синонимия, гипонимия и т.п.).

Представляется полезным обратиться также к «качественным» определениям. Например, в [28] упоминаются следующие уровни онтологии:

- формальная, включающая формальную логику суждений и аксиоматику;

- описательная – сведения о множестве объектов и их взаимосвязях;
- формализованная – кодифицированное представление онтологий формального или описательного уровней.

Здесь первые два вида выделяются по *типу используемых переменных*: в первом случае – это математические, во втором – лингвистические переменные. Третий вид соотносится с двумя первыми по *способу представления*: первые представлены в непосредственной (естественной) форме, последняя – в опосредованной «закодированной» форме.

В рамках задач извлечения/синтеза знаний [29] онтология, как качественное представление ПрО, включает:

- систему понятий ПрО, в которой формулируется и интерпретируется эмпирическая теория;
- свойства, признаки, величины и соответствующие измерительные процедуры, интерпретируемые в системе понятий;
- априорные и экспертные знания;
- знания, интерпретируемые в системе понятий ПрО, получаемые в процессе построения логической, количественной и конструктивной эмпирических теорий.

Порядок упоминания объектов отражает скорее эмпирическую сторону построения модели ПрО: вначале, исходя из прагматики проблемной ситуации, определяется семантика ПрО, которая и будет средством интерпретации построенной теории.

Обобщение разных видов онтологий, отражающее соответствие типам деятельности, масштабам применимости и типам используемых концептов, представлено на рисунке 3.

| Характер (сфера) | Тип деятельности | Уровни сложности объектов | Концепты | Вид онтологий |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|--|
| Теоретический (модель) | Философский (метафизический) | Общенаучный универсум | Категории сущности/отношений | Метаонтология Онтология верхнего уровня |
| | Фундаментальные научные исследования | Отрасль | Величины/единицы измерений Понятия Свойства Законы | Онтология артефакта Онтология отрасли |
| | Прикладные научные исследования | Область | Теории Функции Параметры | Онтология ядра (фундаментальная) Прикладная онтология |
| Практический (практика) | Опытно-конструкторские работы | Технологические системы | Объекты Процессы | ... модели предметной области |
| | Производство, эксплуатация | Компоненты | Экземпляры Связи | ... практики предметной области ... интернета вещей |

Рисунок 3 — Виды онтологий по типам деятельности

Онтология мета-уровня представлена концептуальным каркасом, определяющим классификационную взаимосвязь производных понятий.

Онтология верхнего уровня включает фундаментальные понятия и отношения, такие как пространство, время, материя, событие, действие и т. д. Такие онтологии строятся на концептуальном каркасе, задаваемом на мета-уровне. Отдельно надо указать онтологию величин и единиц измерения, фундаментальную для естественных наук и производства. Аналогично, для языка фундаментальными будут таксономии сущностей и отношений.

Поскольку может существовать несколько онтологий верхнего уровня, это означает, что различные онтологии верхнего уровня должны быть сопоставимы, основой для чего и может служить концептуальный каркас.

Онтологии уровня отрасли и области знаний включают понятия/отношения, как общие, так и специфические для конкретной ПрО. В соответствии с методологией и организацией процессов познания, по уровню сложности объекта концептуализации выделяются:

- *фундаментальная онтология*, специфицирующая через «ядерные» понятия и отношения семантику отрасли, общую для ПрО, выделяемых в отрасли знаний;
- *прикладная онтология ПрО*, определяющая на ядре (через «родительские» фундаментальные отраслевые понятия) производные специальные понятия и отношения, которые в рамках этой области будут конкретны и специфичны.

Объектами онтологий прикладного уровня могут быть не только абстрактные понятия/отношения, которым соответствуют *онтологии моделей ПрО*, но и конкретные экземпляры (их образы) – реальные экземпляры и связи, которым соответствуют *онтологии практики ПрО* – онтологии конкретных объектов/процессов/проектов. Такие онтологии обычно создаются для Интернета вещей, больших систем и проектов в энергетике, авиастроении и т.п.

Прикладная онтология может включать компоненты по признаку фазы знаний или вида объекта концептуализации. Например, онтологии задач, методов, эффектов, свойств и мер.

В целом, отдельная онтология соотносится с вышестоящей онтологией как «язык-объект» и «мета-язык». Изначально понятия ПрО определяются через понятия мета-языка, но после этапа становления области большинство понятий определяется через понятия ПрО, которые были введены и существуют вполне самостоятельно. Понятие относится к «лингвистическим» переменным: его смысл определяется не только наследуемым содержанием, но и контекстом – обстоятельствами определения и употребления. Для соотнесения понятий или оценки семантической целостности необходимо иметь возможность «приведения» понятий или отношений к мета-языку, что в пределе приведёт к «проявлению» его категорийного образа. Поскольку категории являются общим базисом, то это позволит определять вычислимые меры и семантические расстояния.

Иерархия онтологий представляет собой «стек онтологий», где каждая онтология наследует семантику «родителя» [30, 31]. Это позволяет возвращать результат применения, на основе обратной связи создавать основу для развития стека.

3.2 Формы представления онтологий

Онтологии ассоциируются с разными видами и формами их представления: словарями, тезаурусами, таксономиями и классификациями, фреймами, графами, семантическими сетями (см., в частности, рисунок 1), имеющими разные структуры и обладающими разной смысловой выразительностью. Перечисленные формы антропоцентричны и ассоциируются с экспертными способами их формирования и использования с непосредственным участием человека. Автоматизированные же способы предполагают строго формализованное представление и использование вычислительных методов. В связи с этим предлагается различать три формы представления: декларативную (уровень представления), логико-семиотическую (логический уровень), даталогическую (физический уровень).

Декларативная форма. Это классические формы концептуализации, относительно простые, достаточно формализованные, наглядные терминологические структуры, отражающие, прежде всего, имманентные отношения между устойчивыми, общепринятыми в ПрО понятиями. Они являются, с одной стороны, базисом для концептуализации конкретных ситуаций, решений и выводов, с другой – инструментом смыслового анализа.

Наиболее полно семантика описываемого объекта/процесса представляется семантическими сетями. Семантические сети представляют факты, ситуации, решения ПрО через граф сущностей и функциональные отношения.

Таксономии и классификации представляют членение доменов ПрО в соответствии с концептуальной решеткой, что обеспечивает наследование свойств, обычно через древовидную форму представления, и позволяет определять меры семантической близости. Классификации и таксономии идентифицируют существо объекта неявно - через свойства, характерные для соответствующего класса и относительно других классов.

Словари и тезаурусы представляют в традиционном и простом виде понятийный базис – средство построения описания объекта/ситуации.

Таксономии и тезаурусы с определёнными оговорками могут быть отнесены к лингвистическим онтологиям.

Логико-семиотическая форма. Формализованное структурное представление онтологии, как семиотически целостное образование, определяется в [32] в рамках общей теории систем [33] как совокупность трёх взаимосвязанных систем

$$O = \langle S_f, S_c, S_t, \equiv \rangle, \text{ где}$$

S_f – функциональная система, представляющая объекты и связи действительности и определённая как $S_f = \langle M_f, A_f, R_f, Z_f \rangle$, где M_f – множество объектов (сущностей), A_f – множество характеристических свойств, R_f – множество функциональных отношений, представленных типизированными ситуативными связями, характерными для ПрО, Z_f – закон композиции, т.е. правила и схемы упорядочения объектов (например, мерономия ПрО);

S_c – понятийная система, определённая как $S_c = \langle M_c, A_c, R_c, Z_c \rangle$, где M_c – множество понятий ПрО, A_c – множество признаков систематизации понятий, R_c – множество отношений (прежде всего, парадигматических), Z_c – закон композиции (схема представления, в частности иерархическая таксономия);

S_t – терминологическая система, определённая как $S_t = \langle M_t, A_t, R_t, Z_t \rangle$, где M_t – множество терминов, A_t – множество свойств, R_t – множество отношений (эквивалентности, включения, а также лингвистические отношения), Z_t – закон композиции (грамматика, правила выделения понятий/отношений из текста);

\equiv – операция сопоставления элементов различных систем на уровне знаков, обеспечивающая их тождество в функциональной, понятийной и терминологической системах.

Такая формализация позволяет задавать теоретико-множественными методами компоненты конкретных онтологий.

Даталогическая форма. Представление онтологии в виде графов позволяет формализовать операции над онтологиями на основе теоретико-графовых аксиом. Основными операциями, согласно [32, 34], являются: бинарные – объединения, пересечения, проекции; унарная – масштабирования онтологий.

Моделью данных функциональной¹ системы является помеченный (для вершин и дуг которого определены свойства A_f) ориентированный² граф $G(V, E) = \langle V, E \rangle$, где V – множество вершин, а E – множество дуг. Множества вершин и дуг в совокупности соответствуют множеству элементарных фактов, представляющих соответствующие сущности, связанные типизированными отношениями. Одна и та же пара сущностей может участвовать в нескольких элементарных фактах, в графе $G(V, E)$ для двух вершин может существовать более одной дуги, т.е. $G(V, E)$ обладает свойством мультиграфа.

¹ Объектами функциональной системы могут быть понятия и знаки, что позволит иметь онтологию языка.

² Ориентированность графа онтологии определяется ориентированностью дуг и смысловой «направленностью», отражающей эволюцию смыслового образа объекта/результата. Это означает, что имя отдельной сущности или отношения в графе будет представлено в нескольких «экземплярах». Здесь понятия и отношения выступают как лингвистические переменные, конкретный смысл которых доопределяется контекстом, специфицируемым типами отношений и характером связанных сущностей. Поскольку граф представляет *целенаправленный процесс*, то для него определён порядок следования вершин, в том числе могут быть заданы исходные и конечные (целевые) вершины, что будет соответствовать понятию сеть.

На множествах V и E определяются и могут быть динамически построены:

- *Метаграф*, формально задаваемый как $MG = \langle V, MV, E, ME \rangle$, где V – множество вершин, MV – множество метавершин, E – множество дуг, ME – множество метадуг. Каждая метавершина соответствует метасущности ситуативного факта и представляет собой граф $mv_i = \langle V_i, E_i \rangle$, где $V_i \subset V, E_i \subset E$, а метадуга – метаотношению. Для графовых форм, отображающих семантику текстов, наличие метавершин вполне конструктивно и естественно. Метавершина соответствует сущности и выступает в качестве атомарного семантического эквивалента смысла, определяемого неатомарной конструкцией (выражением). Метаграф также обладает свойством мультиграфа, т.к. ситуативные факты могут, например, различаться только метаотношениями.
- *Гиперграф*, когда на множестве вершин $V \cup MV$ формируется множество гиперребер W , при этом в основе правил задания гиперребра лежат множества A_f и Z_f :
 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}, w_i = V_i \cup MV_i$, где $V_i \subset V, MV_i \subset MV; V_i \neq \emptyset \vee MV_i \neq \emptyset$.

Смысловая направленность является важным фактором адекватности восприятия. Исходя из того, что схема восприятия информации предопределяется характером задачи и её когнитивным состоянием, при визуализации графа можно использовать разные варианты укладки вершин (закон композиции), которые будут определять характер «навигации» по графу. В частности, используются следующие алгоритмы укладки вершин на плоскости [35]:

- укладка вершин в соответствии с некоторой схемой действий, например, в соответствии с функциональной моделью *IDEF0*;
- построение пути между двумя указанными сущностями, обеспечивающее представление цепочки фактов;
- укладка вершин в порядке употребления сущностей в тексте;
- укладка вершин в соответствии с упорядоченностью по значимости, где в качестве значимости используется длина пути или суммарный вес вершин;
- укладка вершин методом решения гравитационной задачи n -тел.

Использование различных вариантов укладки вершин позволяет повысить уровень восприятия и глубину понимания проблемы.

Наличие в функциональной системе онтологии помимо множеств сущностей и функциональных отношений множества характеристических свойств и закона композиции позволяет группировать сущности не только «в динамике», например, по принципу соответствия синтезируемой цепочки фактов, но и «в статике», например, по принципу обладания общим свойством, по лексикографическому включению и т.п.

Сформированный таким способом граф является *рефлексивным* образом существующего решения/состояния проблемной ситуации. А поскольку рефлексия здесь – это отображение содержания текста, представленного концептуальным графом, на проблемную ситуацию субъекта, то такой граф представляет и некоторое видение будущего.

В графической форме нивелируются различия между смыслом содержания и спецификой представляющих его лингвистических конструкций и интерактивно выполняемые операции над графами позволяют «соединить» абстрактные операции и конкретные схемы. Это облегчает восприятие, понимание и оценку содержания, потому что в фокусе внимания будет компактная целостная картина.

3.3 Система онтологий представления знаний

Важнейшим фактором современности является перемещение информационной составляющей всех направлений в вычислительную среду, что предопределяет необходимость формализованного представления неявных и ассоциированных знаний, а также механизмов

сознания. Индивидуально-коллективные процессы деятельности и, в частности, процессы синтеза и использования знаний, можно подразделить на две взаимосвязанные сферы:

- сфера основной целевой деятельности, реализуемой в соответствии с некоторой моделью основной деятельности (ОД);
- сфера информационных коммуникаций, обеспечивающих организацию и управление деятельностью, сохранение и передачу знаний. Это соответствует понятию «информационная деятельность» (ИД), которая и сама может быть объектом ОД.

В подавляющем числе публикаций ОД представляется стеком онтологий отрасли. Однако собственно деятельность, включая организацию и управление ею, является сложным объектом, который воплощает и порождает знания, в том числе «управленческие», что влияет на характер видов и наполнения соответствующих документов, представляющих знания ОД. Деятельность, как фактор процесса построения конкретной онтологии ПрО, должна быть представлена в сопоставимой онтологической форме. Такая онтология включает семантические сети типизированных процессов и таксономию ЖЦ.

Поскольку ОД обычно ассоциируется с рациональной и/или научной деятельностью, конечной целью которой является создание некоторого нового артефакта, на верхнем уровне стека целесообразно иметь онтологию артефакта – концептуальную схему, которая определяет систему взаимосвязанных понятий, обеспечивающих согласованное проведение измерений свойств и оценку результата, а также их унифицированное представление.

Информационные коммуникации – это, во-первых, язык, основной функцией которого является фиксация знаний на носителях, обычно в виде документа. Во-вторых – это формы представления знаний, зависящие от характера работы и назначения документа. В-третьих – это информационная поддержка процессов организации и управления деятельностью (схемы типовых процессов, содержание работ и т.п.). Эти компоненты (язык, формы представления знаний, схемы процессов) являются существенными и устойчивыми составляющими, определяющими представление и использование знаний.

Основными компонентами онтологии языка являются: понятийно-знаковые системы (тезаурусы, глоссарии), словари основ и морфо-шаблоны именованных сущностей и типизированных отношений, таксономии сущностей/отношений, таксономия величин/единиц измерения.

Основными компонентами онтологии деятельности являются семантические сети типизированных процессов и таксономии ЖЦ. Такая онтология представляет собой следующую ступень развития качества познания действительности в ряду: категоризация объектов в пространстве-времени, построение схемы отношений объектов/категорий, выделение типичных ситуаций на основе схем, и, наконец, онтологии процессов, как объединение различных ситуаций в контексте деятельности. Онтологии процессов представляют отдельные типизированные «элементарные» акты, например, «получение задания», «согласование документа», «проверка результата» и т.п.

Основными компонентами онтологии форм представления являются таксономия видов документов и схемы представления содержания документов.

Приведённую типологию онтологий нужно дополнить онтологиями языка, форм представления знаний и онтологией процессов деятельности. На рисунке 4 показана *система онтологий* представления знаний. Такая совокупность онтологий обеспечит практическую возможность переноса знаний в вычислительную среду.

Для онтологий языка, деятельности и форм представления не указаны метакомпоненты этих онтологий, поскольку здесь они рассматриваются как среды, где не порождаются «себе подобные» объекты: здесь нет соотношений типа «язык-объект» - «метаязык».



Рисунок 4 — Система онтологий представления знаний

4 Онтологии артефакта

Любая рациональная деятельность начинается с объявления цели деятельности и критериев её достижения (т.е. специфицируются требования к функциональным и эксплуатационным свойствам) и заканчивается проверкой соответствия достигнутых показателей заявленным. В процессе деятельности величины заявленных параметров и формулировки, их задающие, могут измениться. Могут измениться и средства проверки достижимости требований. Требования, как и любые описания, создаются человеком и используются им, и даже хорошо формализованный стиль (если это не спецификации) использует естественный язык со своими свойствами неоднозначности и вариантности, что создаёт возможность для ошибок интерпретации и использования. Другим следствием человеческого фактора является «недоговорённость» - ориентация на человеческое понимание, использующее профессиональные знания получателя: обычно указывается, например, название свойства и его значение, но каким прибором измерять или какие погрешности измерения допускаются, в тексте может и не приведено.

В контексте задачи переноса информационной составляющей деятельности в вычислительную среду и автоматизации управления можно выделить два направления: (1) задача выявления и идентификации в тексте свойств и их значений; (2) «добраивание» параметра до полного образа. Первое связано с проблемой согласованного представления свойств, непротиворечивостью значений свойств в разных частях текста и в разных частях документации. Второе - с корректностью использования единиц измерения, обозначений и т.п. На этапе эксплуатации могут возникать вопросы, далекие от форм представления и именованного того или иного свойства. Например, что будет, если крепёж для заменяемого узла будет из другой марки стали? Что произойдет, если значение некоторого параметра выйдет за предел допустимого на 10%? Безопасно ли использовать топливо с иным

химическим составом? Чтобы найти ответы на такого рода вопросы, нужно проводить информационное расследование, обращаясь к проектной и исследовательской документации. В связи с этим возникает частная задача разработки онтологии артефакта – объекта, рассматриваемого как результат целесообразной деятельности. Это поможет «восстановить полную картину» - привести в явной форме то, что представлено в документации другого этапа ЖЦ или является профессиональными знаниями человека.

Для разработки онтологии артефакта используется системный подход и семиотическая модель, что позволяет построить онтологическую модель объекта, рассматриваемого как результат рациональной деятельности, включающей не только совокупность свойств и методов их оценки, но и «сопутствующий» контекст, который в действительности часто является определяющим.

Артефакт – это целевой абстрактный или конкретный объект/процесс, целенаправленно создаваемый субъектом, взаимодействующим с действительностью. Артефакт - это макро-объект, обладающий измеримыми свойствами и включающий «технологии» оценки значений этих свойств.

Свойства артефакта имеют разную природу и представление в разных ПрО, методы измерения зависят от окружения, в котором измеряются величины. Исходя из этого, в онтологии должны быть представлены как фундаментальные связи величин, свойств, единиц измерения и т.д., так и связи, которые показывают соотношения этих понятий. Кроме того, необходимо учитывать семиотическую природу онтологии: помимо объектов и связей действительности, а также понятий и отношений, позволяющих моделировать эту действительность, онтология имеет лингвистическую составляющую – знаковую систему, позволяющую согласованно и гибко представлять информацию.

Концептуальная схема базовых абстракций онтологии свойств основывается на категории *Осознаваемое*, позволяющей рассматривать информационный образ (в частности, значение величины измерения) как отображение конкретного объекта на некоторую модель. Для концептуализации артефакта можно использовать нормативно-справочные материалы в области организации и управления разработками, онтологию свойств [36], а также на результаты анализа следующих проектов.

- Онтология «*Quantities, Units, Dimensions and Types*» (*QUDT*) [37], как часть информационной архитектуры *NASA*, представляет собой формализацию концепций метрологии высокого уровня. Она включает такие компоненты, как величина, единица измерения, размерность, префикс, системы величин и единиц, род величин и обеспечивает связь единиц измерения разных систем.
- *Ontology of Units of Measure* [38] предназначена для использования в научной и инженерной практике и включает следующие компоненты: величина, шкалы измерения, размерность, префиксы, единицы измерения, область применения, и род величины. Область применения определяет употребление разных единиц измерения одной величины, а род величин показывает иерархию величин.
- *The Units Ontology* [39] предназначена для описания качественных и количественных наблюдений в биологии. Онтология включает такие компоненты, как величины, единицы измерения и префиксы.
- Язык *UnitsML* [40] предназначен для кодирования научных единиц измерения и состоит из нескольких наборов элементов: единицы измерения, величины, размерность и префиксы для единиц измерения.

В качестве логико-семантической основы для построения онтологии артефакта можно использовать понятия и определения, принятые в метрологии. На рисунке 5 представлена онтологическая модель (концептуальная схема), представляющая информационный образ

артефакта как систему функционально и логически взаимосвязанных понятий, величин, объектов и процессов, построенная с использованием следующих определений.

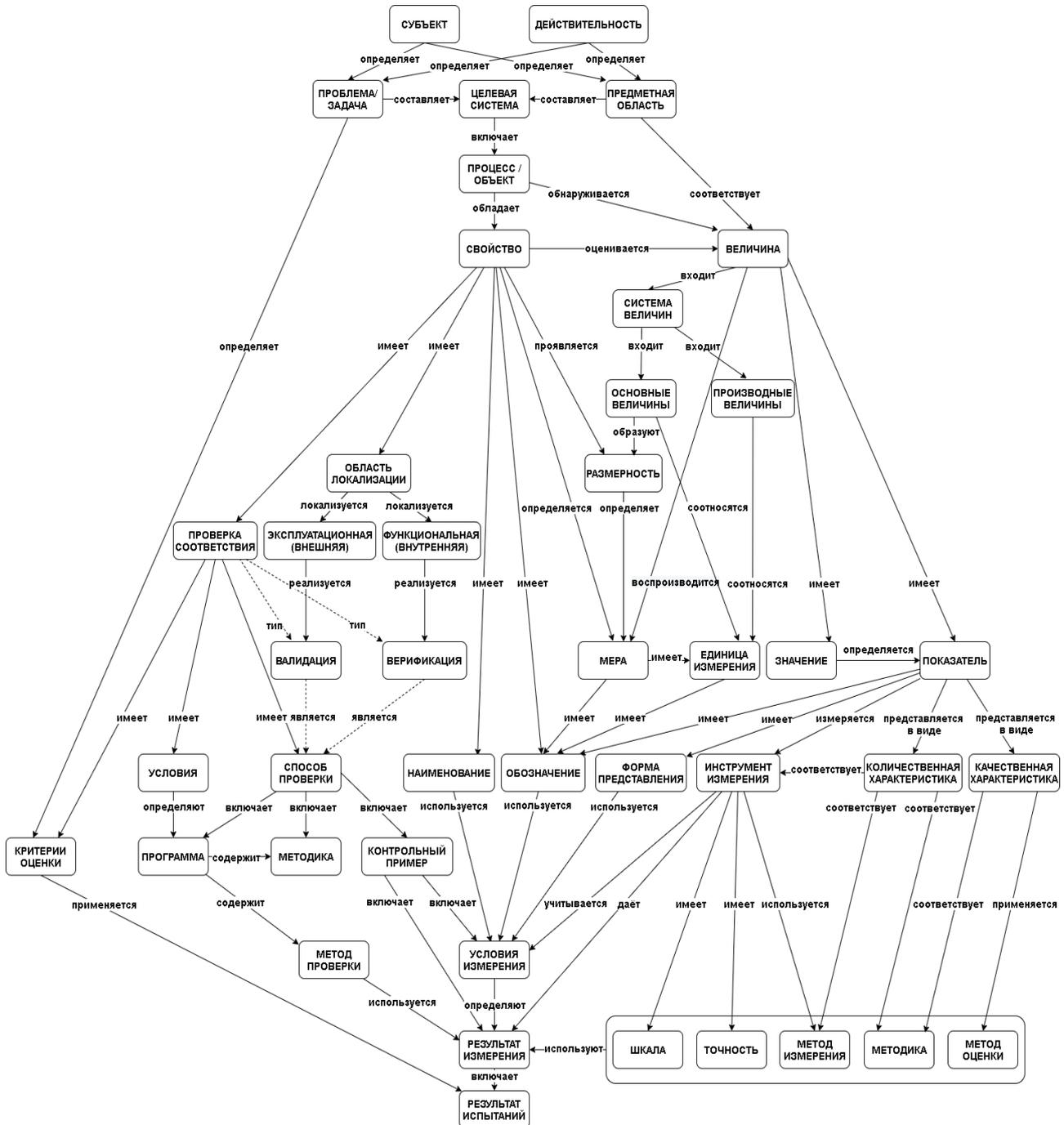


Рисунок 5 — Онтология артефакта

Объект – это такой фрагмент объективной или субъективной реальности, на который направляется внимание субъекта, вовлекается им в свою деятельность и становится предметом его теоретической или практической деятельности. Предметом или ПрО является совокупность свойств объекта, которая вычленяется познавательными или практическими средствами.

Свойство выражает такую сторону предмета, которая обуславливает его различие или общность с другими предметами и обнаруживается в его отношении к ним [41]. Можно сказать, что свойство – это проекция объекта на предмет. Свойство имеет наименование и обозначение.

Величина проявляется при взаимодействии как мера, определяемая свойством и предметом. Система величин - это совокупность величин и непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины [42].

Мера – это средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов с приписанными им значениями. Мера имеет единицу измерения [42]. В целом, мера показывает связь качественных и количественных характеристик: «мера показывает границу, за которой изменение количества влечёт изменение качества» [43].

Размерность – это выражение зависимости величины от базовых величин системы величин как произведения степеней множителей, соответствующих базовым величинам, без учёта какого-либо числового множителя. Размерность величины определяется через основные единицы. *Единица измерения* – это реальная скалярная величина, определённая и принятая по соглашению, с которой любое другое количество того же рода можно сравнить, чтобы выразить отношение двух величин в виде числа [42].

Значение величины – это выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений [44]. Исходя из определения «показатель качества продукции» [45], можно принять, что значение величины определяется посредством инструмента путём измерения показателя – количественной или качественной характеристики свойств системы, рассматриваемой применительно к определённым условиям её создания и эксплуатации или потребления.

Инструмент измерения – это устройство, используемое для проведения измерений, отдельно или совместно с дополнительными устройствами, для которого может быть специфицирован интервал измерений, устанавливаемый в технических условиях. *Результат измерения* - значение некоторой величины, полученное применением инструмента измерения [42].

Результат испытаний - значение, полученное в одном или нескольких испытаниях в зависимости от требований, регламентированных в документе на метод испытаний [46]. Получение значения основывается на критерии качества, задающем условие проверки соответствия требованиям.

Верификация - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные (функциональные) требования были выполнены [47].

Валидация - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования (эксплуатационные) использования или применения выполнены [47].

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях [48].

5 Примеры использования нормативных документов как основы для построения онтологической схемы ЖЦ производства

Примеры построения и использования онтологического представления рассмотрены для этапов разработки технического задания (ТЗ), научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР). Выбор этих этапов обусловлен тем, что с них рекомендуется начинать ЖЦ производственной деятельности, а результаты, полученные в ходе выполнения НИР, должны войти в ТЗ для ОКР. Для примера взяты ГОСТы серии 15 (Система разработки и постановки продукции на производство). Из текстов стандартов были выделены тройки «сущность-отношение-сущность», которые объединялись на основе общности во времени выполнения или характера работ. На следующем шаге оставшиеся после объединения тройки представлялись в виде графа (в общем случае обладающего свойствами мульти- и гиперграфа), где отдельная вершина или дуга могут рассматриваться как точка входа в информационное пространство и позволяют раскрыть содержание этапа.

Тройки выделяются автоматически, однако на рисунках 6-8 представлены обработанные графы, где вручную были выделены метавершины. Атомарные вершины графа содержат имена объектов и субъектов этапа деятельности (наименования документов, участников работ и т.п.), а характерные «временные» участки работ представлены метавершинами. Поскольку тексты стандартов представлены на естественном языке, в некоторых случаях достраивались связи и вершины, не названные явно, но следующие из контекста.

Правила формирования метавершин определяются решаемыми задачами и нормативными документами. Например, рассматривается структура вершины или отбираются однотипные вершины и отношения.

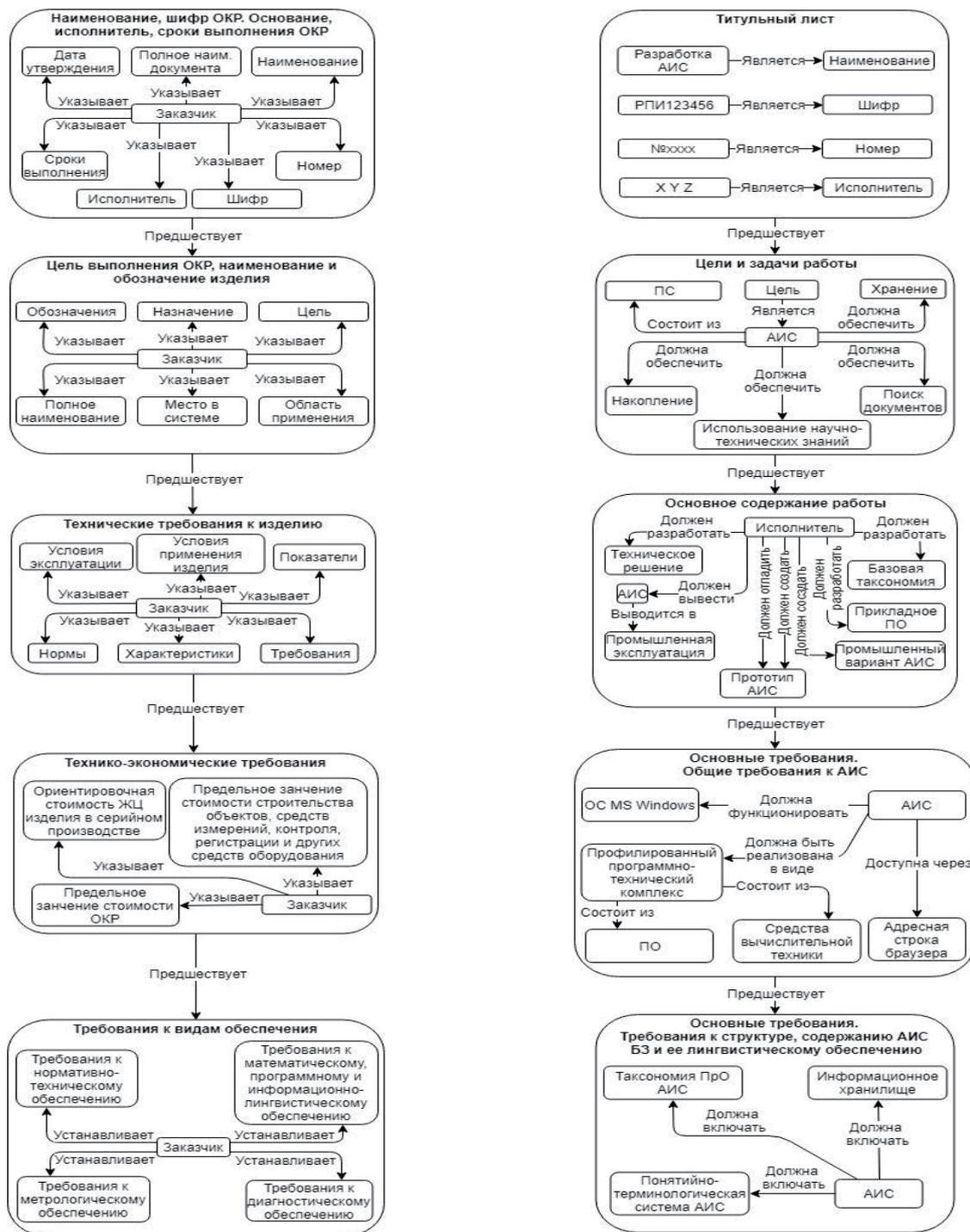


Рисунок 8 — Соотнесение подграфов «Техническое задание»: построенного на основе текста стандарта – слева, и построенного на основе текста реального технического задания – справа (здесь ПО – Программное обеспечение; ПС – Программные средства)

На рисунке 6 представлен фрагмент метаграфа, построенного на основе стандарта, мета-вершины которого определяют отдельные стадии НИР, а порядок переходов между стадиями определяется отношениями «Предшествует». Стадии характеризуются определённой для них деятельностью, в которой задействованы присущие этой стадии объекты. Объекты взаимодействуют согласно определённым для этой стадии операциям и нормативным документам. Каждая организационная стадия имеет характерный для неё набор документов.

Изображённый на рисунке 6 фрагмент метаграфа для описания НИР имеет четыре метавершины (*Определить предмет исследования, Провести анализ научной литературы, Провести анализ патентной литературы, Выбрать направление и методику исследования*), хотя в тексте стандарта эти виды деятельности объединены в одну стадию (*Выбор направления и методики исследования*). Подобное разделение на более мелкие стадии позволяет лучше представить порядок появления документации, определять причинно-следственные связи и историю изменений документов и объектов.

Состав работ и объектов при выполнении конкретного проекта всегда уточняется и дополняется, что фиксируется в ТЗ и другой документации проекта. В этом случае операции над онтологиями обеспечивают возможность выявления соответствий/расхождений между сравниваемыми документами формальными методами.

На рисунке 7 представлен фрагмент графа, построенного на основе текста стандарта, описывающего порядок выполнения ОКР по созданию изделий и их составных частей. Подграф метавершин включает лексику определённого этапа и может быть использован для поиска как нормативных документов, так и документов реальных НИР и ОКР и т.д.

Вершина «Тактико-техническое задание» («ТТЗ») в метавершине «Этап подготовки документов» (см. рисунок 7) может раскрываться подграфом, построенным по тексту стандарта, описывающего требования к содержанию и оформлению ТЗ (рисунок 8, слева), или же по тексту ТЗ реального проекта (рисунок 8, справа) представлен фрагмент описания реального ТЗ на разработку автоматизированной информационной системы (АИС).

Переход от вершины «ТТЗ» (рисунок 7) к графу (рисунок 8, слева), представляющему требования к ТТЗ, можно представить следующими действиями: при выборе вершины «ТТЗ» формируется соответствующий запрос, в ответ на который получаются связанные документы (нормативная и проектная документация) и построенные на их основе графы онтологий.

Чтобы выделить только те фрагменты, которые интересуют пользователя, можно воспользоваться операцией аспектной проекции (аспект задаётся классами отношений, подробнее в [1]) для сущности «ТТЗ». Выбирая вершину «ТТЗ» как исходную точку, отбираются вершины, связанные с ней отношениями типа «Являться частью/целым», а полученные вершины сами становятся новыми запросами.

Выбрав помимо интересующей вершины её окружение (т.е. контекст), становится возможным провести поиск документов по контексту. Пример выделения комбинации вершин и отношений для вершины «Главной исполнитель» («ГИ») представлен на рисунке 7 (вершины и отношения выделены пунктиром). Одним из результатов выдачи по выбранным для поиска вершинам и отношениям будет стандарт, потому что в нём содержатся конкретные предложения, которые описываются выделенными вершинами и отношениями.

Онтологический подход к представлению содержания документов позволяет также проводить и сравнение содержания документов, используя операции объединения, пересечения графов. Так, сравнение графов, изображённых на рисунке 8, показывает, что метавершина «Цель выполнения ОКР...» (рисунок 8, слева) является структурной основой для метавершины «Цели и задачи работы» (рисунок 8, справа).

Конструкция, состоящая из вершин «Цель» и «Заказчик», связанных отношением «Указывает», соотносится с вершинами «Цель» и «АИС», связанных отношением «Является» из метавершины «Цели и задачи работы», т.к. имеются понятийно тождественные вершины «Цель» и связи, принадлежащие одному классу. Вершина «Назначение» косвенно отождествляется со следующей группой троек из метавершины «Цели и задачи работы»: «АИС – должна обеспечить – Хранение», «АИС – должна обеспечить – Поиск документов», «АИС – должна обеспечить – Накопление». Вершина «Требования» из метавершины «Технические требования к изделию» (рисунок 8, слева) в нормативном документе раскрывается через ме-

тавершину «Основные требования. Технические требования к АИС» (рисунок 8, справа) графа онтологии реального ТЗ. Кроме того, на рисунке 8 справа отсутствуют регламентированные в стандарте такие составляющие, как «Характеристики», «Нормы», «Место в системе» и др., а также отсутствует часть «Технико-экономические требования».

Использование процессных онтологий позволяет узнать не только о существующих работах, этапах, порядке их выполнения, субъектах деятельности, документах, соответствующих конкретным работам, но и место определённого документа в ЖЦ проекта, а методы операций над графами позволяют проводить оценку соответствия (валидацию и верификацию) проектной документации формальным требованиям.

6 О координатах онтологического пространства знаний

Чтобы система управления знаниями была адекватна и практически эффективна, она должна интегрировать информационные потоки и ресурсы, относящиеся ко всем видам и этапам деятельности, начиная с НИР и заканчивая выводом из эксплуатации, от стратегического планирования до реализации и оценки результатов, от формирования образовательных программ до подготовки и переподготовки кадров. При этом рациональная деятельность состоит в установлении взаимного соответствия объектов деятельности и предметов деятельности. В результате исследования объекта создаётся его предметно-ориентированная модель, при реализации модель воплощается в экземпляре объекта.

Для полноценного сохранения и эффективного управления знаниями, основанными на адекватной идентификации как экземпляров хранения, так и структур смысловых фрагментов знания во времени и в изменяющихся условиях, необходимо иметь возможность представлять знание во всех онтологических пространствах и координатах.

Можно ввести следующие основные «пространства» жизни объекта:

- сфера основной деятельности субъекта, где по форме существования выделяются два подпространства – абстрактных объектов (концептуальные модели, теории, составляющие *предмет деятельности*) и конкретных объектов/процессов (представляющих *объект деятельности*);
- время модельное (шкала, соответствующая ЖЦ), как фактор, обуславливающий существование разных сред и представлений знаний в зависимости от вида деятельности и специализации процессов;
- сфера информационной деятельности субъекта, предопределяющая способы и формы представления объекта в виде информационных сообщений;
- «пространство» языка, как средства представления и передачи знаний в процессах сохранения, поиска, синтеза знаний;
- время астрономическое, как фактор, предполагающий изменение объектов ПрО, а также знания и условий его синтеза и использования.

Концептуальный образ (онтология экземпляра ПрО) абстрактного или конкретного объекта представлен в следующих «координатах»:

- координата «объект», задаваемая структурной таксономией (точнее, мерономией), представляющей соотношение составных частей объекта;
- координата «предмет», задаваемая функциональной таксономией (как структура модели ПрО) – структурой, представляющей теоретические и иные знания, относящиеся к этапам ЖЦ изделия;
- координата «деятельность» (как ось модельного времени), представляющая распределение работ/процессов по этапам ЖЦ и связанное с ним распределение по формам представления, задаваемая таксономией стадий и этапов ЖЦ и/или синхронизированной с

ней таксономией типов и видов документов как форм и способов описания, специфических для конкретного этапа/процесса.

В этом случае таксономии следует рассматривать как иерархические *номинальные шкалы*, градациям которых соответствуют относительно цельные семантические структуры.

Это *3D* пространство «вложено» в *2D* пространство с координатами «язык-время» (*3+2D* пространство в некотором смысле аналогично *4D* пространству, определённом в *ISO 15926* [49]), связывающее состояние «диалекта» языка, характерного для конкретной ПрО, с моментом времени формирования онтологии (рисунок 9).

В этом примере конкретное целевое знание о свойствах надёжности главного циркуляционного насоса (рисунок 9, точка с координатами {«ГЦНА», «Надёжность», «Описание»}) представлено семантической сетью графа функциональной системы онтологии, являющейся объединением графов (с распределением подграфов по «модельному времени» - соответствующим этапам ЖЦ), построенных по текстам документов разного вида. Динамика процесса (организация деятельности по созданию нового знания) отражается физическим (астрономическим) временем, если оно присутствует в виде события или свойства объекта/отношения (отношениями локативности), а также порядком следования фактов в тексте.

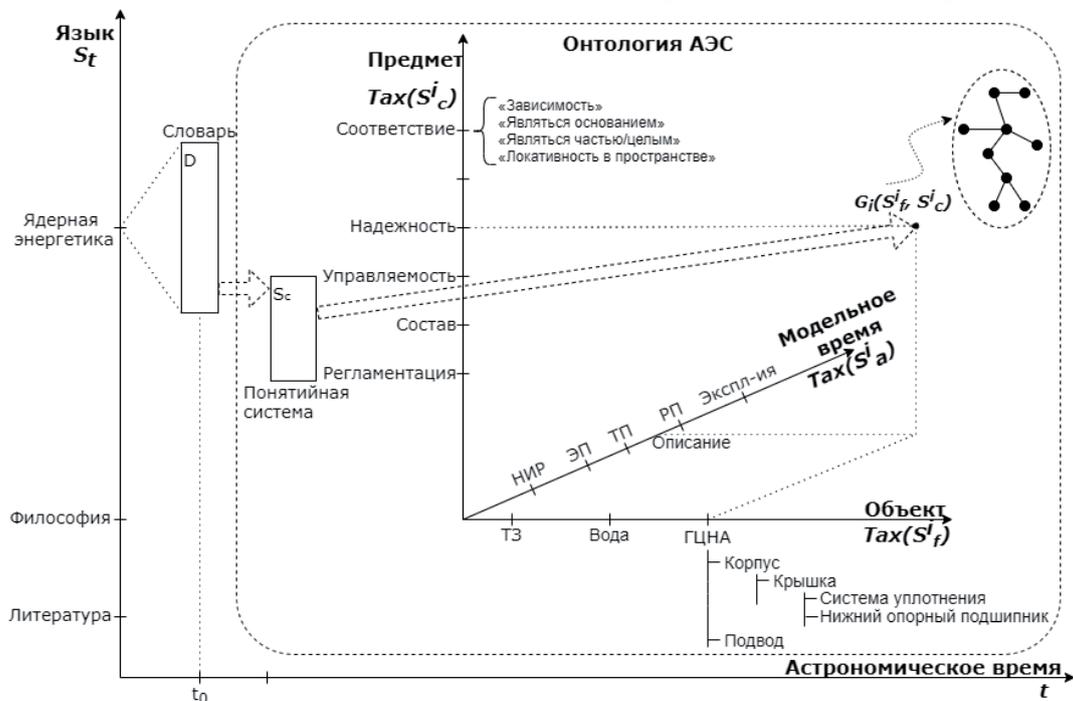


Рисунок 9 — Пространство онтологии знаний

Система онтологий, представляющих знание, является *организацией* (по А.А. Богданову [50]) – это структура частей (представляющих знание о действительности и формах представления), имеющих материальную форму и взаимодействующих во времени и пространстве. Здесь «структура частей» означает, что в процессе развития в рамках определённых условий закономерно выделяются наиболее типичные формы организации. Это означает, что имеются общие механизмы отбора структур из их возможных вариантов. Онтология – это не только статичный концептуальный образ, соответствующий некоторому состоянию ПрО, но и динамическая структура, диалектически взаимодействующая с ПрО и предопределяющая пути её развития.

Система онтологий по отношению к деятельности является семантическим ядром, фиксирующим «смыслы» ПрО – *систему* понятий и отношений, на которую «проецируются» находимые в процессе деятельности решения.

Заключение

Понятие «онтология» многогранно. Онтология отличается от описания не только тем, что представлена на уровне концептов, но и тем, что включает в себя онтологию языка, форм представления и онтологию соответствующей ПрО. Предложенная модель системы онтологий знаний:

- включает идентифицирующую и объясняющую функции;
- учитывает фактор времени;
- позволяет формировать семантическую окрестность понятия, находить контекстно определяемый путь между семантическими компонентами.

Исходя из принципов схематизма познания, разработана система онтологий представления знаний, объединяющая язык, формы представления знаний и схемы процессов.

Определены роль и место онтологии артефакта и онтологии процессов в системе онтологий представления знаний. Разработана онтология артефакта – модель объекта, инструмента и результата рациональной деятельности, включающая набор свойств и методов их оценки и «сопутствующий» контекст. Предложенная онтология процессов, включающая иерархически связанную совокупность этапов ЖЦ деятельности, объекты и субъекты деятельности каждого этапа, исполняет роль «навигационной карты» для субъектов деятельности, позволяя им ориентироваться в сложных организационных структурах.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект государственного задания № 0723-2020-0036).

Список источников

- [1] **Максимов, Н.В.** Средства семантического поиска, основанные на онтологических представлениях документальной информации / Н.В. Максимов, О.Л. Голицына, К.В. Монанков, А.А. Лебедев, Н.А. Баль, С.Г. Кюрчева // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2019. – №7. – С.8-19.
- [2] **Maksimov, N.** Toward a Building an Ontology of Artefact / N. Maksimov, A. Lebedev // In: Samsonovich A.V., Gudwin R.R., Simões A.S. (eds) Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: BICA*AI 2020. BICA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. - Springer, Cham, 2021. vol.1310. P.225-232. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65596-9_29.
- [3] **Павлов, П.Ю.** Онтологическая поддержка технологической подготовки производства трубопроводов летательного аппарата / П.Ю. Павлов, П.И. Соснин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19, №1. – С.187-194.
- [4] **Скобелев, П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2012. – №1 (3). – С.6-38.
- [5] **Белов, М.В.** Структура методологии комплексной деятельности / М.В. Белов, Д.А. Новиков // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С.366-387. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-366-387.
- [6] **Максимов, Н.В.** Методологические основы онтологического моделирования документальной информации / Н.В. Максимов // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2018. – № 3. – С.6-22.
- [7] **Гуревич, И.М.** Законы информатики – основа строения и познания сложных систем / И.М. Гуревич. ☐ М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. 400 с.
- [8] **Огнев, А.И.** Учение Канта о схематизме понятий чистого рассудка / А.И. Огнев // Кантовский сборник. ☐ 2012. ☐ №2(40). – С.79-86.
- [9] **Пиаже, Ж.** Теория, эксперименты, дискуссии / Ж. Пиаже. ☐ М.: Гардарики, 2001. 624 с.
- [10] **Сазонов, Б.В.** Техника схематизации и схемы в ММК: к проблеме онтологического статуса схем / Б.В. Сазонов. // Третья конференция по схематизации на тему «Разворачивание и жизнь методологических схем» 2009. Тексты к конференции. <https://www.fondgp.ru/old/lib/conferences/2009/texts.html>.
- [11] **Морозов, Ф.М.** Схемы как средство описания деятельности (эпистемологический анализ) / Ф.М. Морозов. – М.: ИФ РАН, 2005. 182 с.

- [12] **Розин, М.В.** Введение в схемологию. Схемы в философии, культуре, науке, проектировании / М.В. Розин. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 256 с.
- [13] **Лотман, Ю.М.** Культура и взрыв / Ю.М. Лотман. М.: Гнозис; Издат. группа «Прогресс», 1992. 272 с.
- [14] **Налимов, В.В.** Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. / В.В. Налимов. – М: Прометей, 1989. 288 с.
- [15] **Тарасов, В.Б.** Онтологии жизненного цикла сложной технической системы / В.Б. Тарасов, А.В. Федотова, Н.В. Черепанов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Матер. IV междунар. науч.-техн. конф. (OSTIS-2014, Минск, БГУИР, 20–22 февраля 2014 г.). – Минск, БГУИР, 2014. – С.471-482.
- [16] **Гришин, М.В.** Онтологическая поддержка конструкторской деятельности в условиях технологической подготовки производства на основе концептуальных экспериментов / М.В. Гришин, А.В. Лебедев, П.И. Соснин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18, №4(3). – С.451-458.
- [17] **Ермолаев, К.А.** Использование онтологии для управления знаниями предприятия / К. А. Ермолаев // Исследования по информатике. – 2007. – вып. 12. – С.65–78.
- [18] **Мельник, Е.Н.** Онтологические модели для систем управления электроснабжением олимпийских объектов в Сочи / Е.Н. Мельник, А.Ю. Бадалов, Б.Я. Шведин, Д.Б. Гвоздев, Л.В. Бузаев // Онтология проектирования. – 2014. – №1 (11). – С.6-23.
- [19] ГОСТ Р 57193-2016. Процессы жизненного цикла систем / Системная и программная инженерия. – Москва: Стандартинформ, 2016.
- [20] ГОСТ Р 57102-2016/ISO/IEC TR 24748-2:2011. Управление жизненным циклом. Часть 2. Руководство по применению ИСО/МЭК 15288 / Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. – Москва: Стандартинформ, 2016.
- [21] ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Процессы жизненного цикла программных средств / Информационная технология. Системная и программная инженерия. – Москва: Стандартинформ, 2011.
- [22] **Голенков, В.В.** Проектирование предприятий рецептурного производства на основе онтологий / В.В. Голенков, В.В. Таберко, Д.С. Иванюк // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №2(24). – С.123-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-123-144.
- [23] **Gruninger, M.** Ontology of the Process Specification Language / Michael Gruuninger. 20 p. - https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=822123.
- [24] **Pedrinaci, C.** A Core Ontology for Business Process Analysis / C. Pedrinaci, J. Domingue, A.K. Alves de Medeiros // In: Bechhofer S., Hauswirth M., Hoffmann J., Koubarakis M. (eds). The Semantic Web: Research and Applications. ESWC 2008. Lecture Notes in Computer Science. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. Vol.5021. – P.49–64. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68234-9_7.
- [25] **De Roure D.** The Semantic Grid: a Future e-Science Infrastructure / D. De Roure, N. R. Jennings, N. R. Shadbolt // In: Berman F, Fox G, Hey AJG (eds). Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality. – Wiley, New York, 2003. – P.437-470.
- [26] **Загоруйко, Н. Г.** Система ontogrid для автоматизации процессов / Н. Г. Загоруйко, В. Д. Гусев, А. В. Завертайлов, С. П. Ковалев, А. М. Налетов, Н. В. Саломатина // Автометрия. – 2005. – Т.41, №5. – С.13-25.
- [27] **Schaffert, S.** Semantic Wiki for Collaborative Knowledge Formation / S. Schaffert, A. Gruber, R. Westenthaler // In: Reich, S., et al. Semantic Content Engineering. Proc. der Semantics 2005. – Trauner, Linz, 2005. – P.188–202.
- [28] Theory and History of Ontology. <https://www.ontology.co>.
- [29] **Витяев, Е.Е.** Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов / Е.Е. Витяев. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2006. 293 с.
- [30] **Guarino, N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation / N. Guarino // International Journal of Human-Computer Studies. – 1995. – Vol.43, Is.5-6. – P.625-640.
- [31] **Gangemi, A.** ONIONS: An Ontological Methodology for Taxonomic Knowledge Integration / A. Gangemi, G. Steve, F. Giacomelli// In: Workshop on Ontological Engineering. ECAI-96. Budapest, Hungary. – Wiley, Chichester/London/New York, 1996. – P.29-40.
- [32] **Голицына, О.Л.** Онтологический подход к идентификации информации в задачах документального поиска / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, О.В. Окропишина, В.И. Строгонов // Научно-техническая информация. Сер.2. – 2012, № 5. – С.1-9.
- [33] **Урманцев, Ю.А.** Общая теория систем в доступном изложении / Ю.А. Урманцев. М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2014. 408 с.
- [34] **Голицына, О.Л.** Онтологический подход к идентификации информации в задачах документального поиска: практическое применение / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, О.В. Окропишина, В.И. Строгонов // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2013, №3. – С.1-8.

- [35] **Максимов, Н. В.** Документальная информационно-аналитическая система xIRBIS (редакция 6.0): программа для ЭВМ. / Н.В. Максимов, О.Л. Голицына, К.В. Монанков, А.С. Гаврилкина // Свидетельство о гос. регистрации №2020661683 от 29.09.2020.
- [36] **Maksimov, N.** Ontology of Properties and its Methods of Use: Properties and Unit extraction from texts. / N. Maksimov, A. Gavrilkina, V. Kuzmina, E. Borodina // Procedia Computer Science. – 2020. –169. – P.70–75.
- [37] QUDT- Quantities, Units, Dimensions and Types. <http://www.qudt.org>
- [38] **Rijgersberg, H.** Ontology of Units of Measure and Related Concepts. / H. Rijgersberg, M. van Assem, J. Top // Semantic Web. – 2013. - 4(1). – P.3-13.
- [39] **Gkoutos, G.V.** The Units Ontology: a tool for integrating units of measurement in science / G.V. Gkoutos, P. N. Schofield, R. Hoehndorf // Database. – 2012. – bas033.
- [40] **Celebi, I.** Improving Interoperability by Incorporating UnitsML Into Markup Languages / I. Celebi, R.A. Dragoset, K.J. Olsen, R. Schaefer, G.W. Kramer // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. – 2010. – P.15-22.
- [41] **Ильичев, Л.Ф.** Философский энциклопедический словарь / Л.Ф. Ильичев, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалев, В.Г. Панов. – М.: Советская энциклопедия, 1983. 840 с.
- [42] International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). – https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf
- [43] **Гегель, Г.В.Ф.** Наука логики. В 3-х т. Т.1 Мысль / Г.В.Ф. Гегель. – М.: Мысль, 1970. 501 с.
- [44] РМГ 29-2013. Метрология. Основные термины и определения / Государственная система обеспечения единства измерений. – Москва: Стандартинформ, 2014.
- [45] ГОСТ 15467-79. Основные понятия. Термины и определения / Управление качеством продукции. – Москва: Стандартинформ, 2009.
- [46] ГОСТ 33701-2015. Определение и применение показателей точности методов испытаний нефтепродуктов. – Москва: Стандартинформ, 2016.
- [47] ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Основные положения и словарь / Системы менеджмента качества. – Москва: Стандартинформ, 2015.
- [48] ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения / Система государственных испытаний продукции. – Москва: Стандартинформ, 2011.
- [49] ГОСТ Р ИСО 15926-2-2010. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 2. Модель данных / Системы промышленной автоматизации и интеграция. – Москва: Стандартинформ, 2013.
- [50] **Богданов, А.А.** Тектология: Всеобщая организационная наука / А.А. Богданов. – Москва: Финансы, 2003. 496 с.

Сведения об авторах



Максимов Николай Вениаминович, 1952 г. рождения. В 1975 г. окончил Московский инженерно-физический институт по специальности «Прикладная математика», д.т.н. (2002 г.). Профессор кафедры финансового мониторинга НИЯУ МИФИ. Область научных интересов: моделирование и разработка документальных информационно-поисковых систем и баз данных, лингвистическое обеспечение документальных информационно-поисковых систем и систем управления знаниями; человеко-машинные информационные системы, интерфейсы на основе когнитивных и поведенческих моделей. Автор более 120 научных работ. ORCID: 0000-0002-8191-1521. nv-maks@yandex.ru

Лебедев Александр Анатольевич, 1986 г. рождения. В 2009 г. окончил НИЯУ МИФИ по специальности «Физика конденсированного состояния вещества и фотоника». В 2015 г. окончил магистратуру в НИЯУ МИФИ по специальности «Прикладная математика и информатика». Инженер кафедры финансового мониторинга НИЯУ МИФИ. Область научных интересов: моделирование информационных взаимодействий в документальных базах данных. ResearcherID (WoS): M-3125-2015, ORCID: 0000-0002-3780-8092. lebedevalex@live.ru



Поступила в редакцию 15.03.2021, после рецензирования 20.04.2021. Принята к публикации 25.05.2021.

Ontological system "knowledge-activity"

N.V. Maksimov, A.A. Lebedev

National Research Nuclear University MEPhI

Abstract

The paper considers an approach to construction of human rational activity ontological description. Such a description can serve as an additional source for entering the information space, expands the class of possible indexes for describing documents and allows to implement contextual search. The purpose and features of the use of ontologies in describing the subject area, both from a theoretical and an applied point of view, are considered. Criteria for identifying types of ontologies are indicated. Based on the principles of knowledge schematism, a knowledge representation ontologies system has been developed, which unites language, forms of knowledge representation and process schemes. It is shown that precisely such kind of ontologies system makes possible the practical use of ontologies in computing environments. For a comprehensive description of production (rational) activity, ontologies of artifacts and processes are presented, developed on the basis of an analysis of state and international standards. The ontology of an artifact is a description of an object - a means and a result of purposeful activity, an ontology of processes is a formalized description of the life cycle of an activity. With the help of the ontology of the artifact, it becomes possible to represent the logical structure of activity, and with the help of the ontology of processes, the temporal structure, which jointly determine the two sides of the description of complex activity. The proposed ontology of processes includes a hierarchically related set of stages of the life cycle of activity, objects and subjects of activity of each stage and plays the role of a "navigation map" for subjects of activity, allowing them to navigate in complex organizational structures.

Key words: *ontology, knowledge, activity, ontology of artefact, ontology of processes.*

Citation: *Maksimov NV, Lebedev AA. Ontological system "knowledge-activity" [In Russian]. Ontology of designing. 2021; 11(2): 185-211. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211.*

Acknowledgment: This work was supported by the Ministry of science and higher education of Russian Federation (project of state assignment № 0723-2020-0036).

List of figures

- Figure 1 - The relationship of various aspects of activities in terms of the nature of the work, purpose and time of completion
- Figure 2 - Ontologies systematization according to the level of knowledge they represent (scope), scope of applicability (acceptance), means of presentation (expressivity)
- Figure 3 - Types of ontologies by type of activity
- Figure 4 - Ontologies system of knowledge representation
- Figure 5 - The ontology of artefact
- Figure 6 - Fragment of metagraph, built on basis of text of standard that regulates the procedure for performing research work
- Figure 7 - Fragment of metagraph, built according to text of standard, describing structural and process components carried out within the framework of Development work
- Figure 8 - Interrelation of subgraphs "Statement of work": built on the basis of standard text - on the left, and built on the basis of text of the real statement of work - on the right
- Figure 9 - Knowledge ontology space

References

- [1] *Maksimov NV, Golitsyna OL, Monankov KV, Lebedev AA, Bal NA, Kyurcheva SG.* Semantic search tools based on ontological representations of documentary information [In Russian]. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2019; 2(7): 8-19.
- [2] *Maksimov N, Lebedev A.* Toward a Building an Ontology of Artefact. *Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: BICA * AI 2020. BICA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing.* Cham: Springer; 2021: 225-232.
- [3] *Pavlov PYu, Sosnin PI.* Ontological support of technological preparation of aircraft pipeline production [In Russian]. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2017; 19(1): 187-194.

- [4] **Skobelev PO.** Activity ontology for situational management of enterprises in real time [In Russian]. *Ontology of designing*, 2012; 1(3): 6-38.
- [5] **Belov MV, Novikov DA.** Structure of methodology of complex activity [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017; 7; 4(26): 366-387.
- [6] **Maksimov NV.** Methodological foundations of ontological modeling of documentary information [In Russian]. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2018; 3: 6-22.
- [7] **Gurevich IM.** The laws of informatics are the basis for complex systems structure and knowledge [In Russian]. Moscow: TORUS PRESS; 2007. 400 p.
- [8] **Ognev AI.** Kant's doctrine of the pure reason concepts schematism [In Russian]. *Kantian collection*, 2012; 2(40): 79-86.
- [9] **Piaget J.** Theory, experiments, discussions [In Russian]. Moscow: Gardariki; 2001. 624 p.
- [10] **Sazonov BV.** Technique of schematization and schemes in MMC: to the problem of schemes ontological status [In Russian]. The third conference on schematization on the topic "Development and life of methodological schemes" '2009. Texts for the conference. - <https://www.fondgp.ru/old/lib/conferences/2009/texts.html>
- [11] **Morozov FM.** Schemes as a means of describing activities (epistemological analysis) [In Russian]. Moscow: Institute of Philosophy of RAS; 2005. 182 p.
- [12] **Rozin MV.** Introduction to schemology. Schemes in philosophy, culture, science, design [In Russian]. Moscow: Book House "LIBROKOM"; 2011. 256 p.
- [13] **Lotman YM.** Culture and explosion [In Russian]. Moscow: Gnosis, Publis. group "Progress"; 1992. 272 p.
- [14] **Nalimov VV.** Spontaneity of consciousness. Probabilistic theory of senses and semantic architectonics of personality [In Russian]. Moscow: Prometheus; 1989. 288 p.
- [15] **Tarasov VB, Fedotova AV, Cherepanov NV.** Ontologies of the life cycle of a complex technical system [In Russian]. Proc. of IV international scientific and technical conf. (OSTIS-2014, Minsk, BSUIR, February 20-22, 2014). Minsk: BSUIR; 2014: 471-482.
- [16] **Grishin MV, Lebedev AV, Sosnin PI.** Ontological support of design activity in conditions of technological preparation of production based on conceptual experiments [In Russian]. *Bulletin of Samara Scientific Center of RAS*, 2016; 18; 4(3): 451-458.
- [17] **Ermolaev KA.** The use of ontology for enterprise knowledge management [In Russian]. *Research in informatics*, 2007; 12: 65-78.
- [18] **Melnik EN, Badalov AY, Shvedin BY, Gvozdev DB, Buzaev LV.** Ontological model for control systems of power supply of Olympic facilities in Sochi [In Russian]. *Ontology of designing*, 2014; 1(11): 6-23.
- [19] GOST R 57193-2016. System and software engineering. Systems life cycle processes [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2016.
- [20] GOST R 57102-2016 / ISO / IEC TR 24748-2: 2011. Information technology (IT). System and software engineering. Life cycle management. Part 2. Guidance on the application of ISO / IEC 15288 [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2016.
- [21] GOST R ISO / IEC 12207-2010. Information technology. System and software engineering. Software life cycle processes [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2011.
- [22] **Golenkov VV, Taberko VV, Ivanyuk DS.** Ontology-based design of prescription production enterprises [In Russian]. *Ontology of designing*, 2017; 7; 2(24): 123-144. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-123-144.
- [23] **Gruninger M.** Ontology of the Process Specification Language. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=822123.
- [24] **Pedrinaci C, Domingue J, Alves de Medeiros AK.** A Core Ontology for Business Process Analysis. In: Bechhofer S., Hauswirth M., Hoffmann J., Koubarakis M. (eds). *The Semantic Web: Research and Applications. ESWC 2008. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008: 49-64.
- [25] **De Roure D, Jennings NR, Shadbolt NR.** The Semantic Grid: a Future e-Science infrastructure. In: Berman F, Fox G, Hey AJG (eds). *Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality*. New York: Wiley; 2003: 437-470.
- [26] **Zagoruiko NG, Gusev VD, Zavertaylov AV, Kovalev SP, Naletov AM, N. Salomatina NV.** The ontogrid system for process automation [In Russian]. *Autometry*, 2005; 41; 5: 13-25.
- [27] **Schaffert S.** Semantic Wiki for Collaborative Knowledge Formation. In: Reich, S., et al. *Semantic Content Engineering. Proc. der Semantics 2005*. Linz: Trauner, Linz; 2005: 188-202.
- [28] *Theory and History of Ontology*. - <https://www.ontology.co>
- [29] **Vityaev EE.** Extracting knowledge from data. *Computer cognition. Models of cognitive processes* [In Russian]. Novosibirsk: Novosibirsk State university; 2006. 293 p.
- [30] **Guarino N.** Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 1995; 43; 5-6: 625-640.
- [31] **Gangemi A, Steve G, Giacomelli F.** ONIONS: An Ontological Methodology for Taxonomic Knowledge Integration. In: *Workshop on Ontological Engineering. ECAI-96*. Budapest, Hungary. London/NY: Wiley; 1996: 29-40.

- [32] **Golitsyna OL, Maksimov NV, Okropishina OV, Strogonov VI.** The ontological approach to the identification of information in tasks of document retrieval [In Russian]. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2012; 5: 1-9.
- [33] **Urmantsev YuA.** General theory of systems in an accessible presentation [In Russian]. Izhevsk: Research Center "Regular and Chaotic Dynamics"; 2014. 408 p.
- [34] **Golitsyna OL, Maksimov NV, Okropishina OV, Strogonov VI.** The ontological approach to the identification of information in tasks of documentary search: practical application retrieval [In Russian]. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2013; 3: 1-8.
- [35] **Maksimov NV, Golitsyna OL, Monankov KV, Gavrilkina AS.** Documentary information and analytical system xIRBIS (rev.6.0): computer program [In Russian]. Certificate of state. registr. No. 2020661683 dated 09/29/2020.
- [36] **Maksimov N, Gavrilkina A, Kuzmina V, Borodina E.** Ontology of Properties and its Methods of Use: Properties and Unit extraction from texts. *Procedia Computer Science*, 2020; 169: 70-75.
- [37] QUDT- Quantities, Units, Dimensions and Types. - <http://www.qudt.org>
- [38] **Rijgersberg H, van Assem M, Top J.** Ontology of Units of Measure and Related Concepts. *Semantic Web*, 2013; 4(1): 3-13.
- [39] **Gkoutos GV, Schofield PN, Hoehndorf R.** The Units Ontology: a tool for integrating units of measurement in science. *Database*, 2012; bas033.
- [40] **Celebi I, Dragoset RA, Olsen KJ, Schaefer R, Kramer GW.** Improving Interoperability by Incorporating UnitsML Into Markup Languages. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 2010; 15-22.
- [41] **Ilyichev LF, Fedoseev PN, Kovalev SM, Panov VG.** *Philosophical Encyclopedic Dictionary* [In Russian]. Moscow: Soviet Encyclopedia; 1983. 840 p.
- [42] International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). - https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf
- [43] **Hegel GWF.** *Science of logic*. In 3 volumes. Vol. 1 Thought [In Russian]. Moscow: Idea; 1970. 501 p.
- [44] RMG 29-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. *Metrology. Basic terms and definitions* [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2014.
- [45] GOST 15467-79. Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2009.
- [46] GOST 33701-2015. Determination and application of accuracy indicators for testing methods for petroleum products [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2016.
- [47] GOST R ISO 9000-2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2015.
- [48] GOST 16504-81. System of state product testing. Product testing and quality control. Basic terms and definitions [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2011.
- [49] GOST R ISO 15926-2-2010. Industrial Automation Systems and Integration. Integration of lifecycle data for refineries, including oil and gas production plants. Part 2. Data Model [In Russian]. Moscow: Standardinform, 2013.
- [50] **Bogdanov AA.** *Tectology: General organizational science* [In Russian]. Moscow: Finance; 2003. 496 p.

About the authors

Nikolai Veniaminovich Maksimov (b. 1952) graduated from the Moscow Engineering Physics Institute in 1975, D. Sc. Eng. (2002). Professor of Financial monitoring Department of National Research Nuclear University MEPhI. Research interests: modeling and development of documentary information search systems and databases; linguistic support of documentary information search systems and knowledge management systems; human-machine information systems, interfaces based on cognitive and behavioral models. Author of more than 120 scientific papers, textbooks and tutorials. ORCID: 0000-0002-8191-1521. nv-maks@yandex.ru

Lebedev Alexander Anatolyevich (b. 1986) graduated from the Moscow Engineering Physics Institute in 2009 with a degree in Condensed Matter Physics and Photonics. Graduated from the National Research Nuclear University MEPhI in 2015 with a degree in Applied Mathematics and Informatics. Engineer of Financial monitoring Department of National Research Nuclear University MEPhI. Research interests: modeling of information interactions in documentary databases. ResearcherID (WoS): M-3125-2015, ORCID: 0000-0002-3780-8092. lebedevalex@live.ru

Received March 15, 2021. Revised April 20, 2021. Accepted May 25, 2021.