

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ОНТОЛОГИЙ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

Бурый А.С., д-р техн. наук, директор департамента, ФГБУ «Институт стандартизации»

Представлен концептуальный подход к интеграции онтологий предметных областей исследования для обеспечения интероперабельности информационных систем на структурном уровне. Предложен двухэтапный процесс формирования интегрированных онтологий, включающий комплексирование функциональной структуры объекта, его понятийной системы и алгебраического представления при формировании отношений между понятиями, а также построение онтографа, объединяющего графы знаний междисциплинарной предметной области. Методологической основой исследования являются системный подход, концептуально-логическое моделирование и методы научной прогностики.

Цель данной статьи – исследование научной и методической базы при разработке концепции структуризации знаний на основе развития онтологического подхода и многоагентного представления динамики взаимодействия информационных систем в ходе формирования, интеграции, хранения и обмена знаниями. Данный подход можно использовать в задачах интеграции знаний при построении онтологий междисциплинарных предметных областей.

Ключевые слова: онтологическая модель, интеграция онтологий, системный и метасистемный подход, знания, граф знаний, онтограф.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время выделяют два основных типа информационных потребностей человека: в сведениях об источниках необходимой информации и в самой научной (технологической) информации. Для удовлетворения потребностей первого типа предназначены информационные системы (ИС), получившие название документальных, второго – фактографических ИС [1]. Наиболее востребованным средством информационного обеспечения научно-технической деятельности становятся системы на основе искусственного интеллекта (ИИ), сочетающие возможности информационных систем указанных типов и позволяющие удовлетворять информационные потребности квалифицированного пользователя в соответствии со схемой:

документ → факт → рассуждение

Важный этап процесса функционирования фактографических систем – извлечение из текстов документов содержащихся в них фактов, т. е. «особого рода предложений, фиксирующих эмпирическое знание» [2], что представляет собой совокупность сущностей и связей между ними, составляющих онтологию ИС.

Онтология является моделью представления знаний, которая может использоваться для описания семантики объектов предметно-ориентированных информационных систем. В данной работе рассматривается подход к созданию информационных систем, основанных на знаниях. Примерами подобных ИС служат разрабатываемые и внедряемые образовательные Web-порталы [3], семантические тезаурусы WordNet на основе графов знаний [4].

Выступая структурной единицей знания, онтология представляет набор определений фрагмента декларативных знаний на формальном языке, ориентирована на совместное многократное и многоцелевое использование в различных приложениях:

1. При разработке баз данных и знаний (БДЗ) [5].
2. При построении моделей представления знаний на основе выявления информационных связей в понятийных и терминологических системах в области стандартизации [6].
3. В моделях коммуникации знаний в наукометрических системах цитирования и библиографической поддержки [7].
4. В моделях пополнения баз знаний на фоне расширения типовых ситуаций в системах принятия решений (СПР) [8].

Грани между современными технологиями стираются, образуются новые интеграции на междисциплинарном уровне. Интеграция знаний на уровне БДЗ проявляется в ходе их структуризации при решении конкретных задач:

1. Интеллектуального анализа текстовой информации (при информационном поиске, семантическом анализе текстов, в системах автоматизированного перевода) [9].
2. В системах искусственного интеллекта при оценке роли стандартизации в жизненном цикле изделий [10].
3. При составлении требований к информационно-коммуникационным технологиям (ИКТ), обеспечивающим межотраслевое взаимодействие ИС, БДЗ в информационной среде умного города [11].
4. При формировании информационных ресурсов образовательной среды путем стандартизации метаданных, классификации информационных сущностей заданной области [12].

Многообразие форматов данных, требующих структуризации для совместной переработки в ходе интеграции в единых БДЗ и технологических процессах, предопределило актуальность цели данной статьи – исследование научной и методической базы при разработке концепции структуризации знаний на основе развития онтологического подхода и многоагентного представления динамики взаимодействия информационных систем в процессе формирования, интеграции, хранения и обмена знаний.

МОДЕЛИ СТРУКТУРИЗАЦИИ ЗНАНИЙ

Процесс познания окружающего мира сопровождается систематизацией получаемых знаний для составления многогранной картины отражаемой в результате познания действительности. Для лучшего понимания сути целого декомпозируем сферу нашего обитания на техно-, социо- и инфосферы. Однако их границы размываются по мере того, как инфосфера с основной ее ценностью – информацией (производимой, передаваемой, сохраняемой, копируемой и предоставляемой потребителю в виде товара) проникает в технологии и среду социосферы. Информационная среда обитания современного общества и ускоренное развитие ИКТ формируют новый вид реальности, искусственную технологическую псевдосреду – виртуальную реальность, в которой образуются социальные сети и сетевые сообщества.

Понятие онтологии, трактуемое в философии как учение о бытии, в точных науках (информатике, ИИ) реализуется в виде моделей структуризации предметной области исследования (ПОИ), представляемой совокупностью объектов, их классов, связей между ними и правил вывода¹. Определение базовых понятий ПОИ (агентов, процессов, атрибутов) вместе с основными отношениями между ними называется

¹ Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология: Словарь системы основных понятий. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. С. 106.

концептуализацией [13]. Традиционно в онтологических исследованиях изучаются, с одной стороны, происхождение знаний и их конструирование из некоторых единиц, а с другой, исследования направлены на построение (выявление) коммуникаций знаний, их распределение, обмен и анализ, в том числе на основе взаимодействия интеллектуальных агентов в киберфизических системах [14, 15].

Под агентом будем понимать интеллектуальный метаобъект, способный манипулировать другими информационными объектами, формировать собственные программы действий для достижения поставленной цели (согласно принятому в объектно-ориентированном программировании подходу).

При взаимодействии информационных агентов в сети Интернет онтологию удобно представлять в виде иерархии понятий и связей между ними в виде системы ссылок на www-объекты, связанные с этими понятиями. В данной ситуации онтология близка к тезаурусу – множеству терминов определенного языка с основными связями между ними, которые можно использовать для классификации, описания и/или управления информацией и знаниями. Онтология должна поддерживать семантические связи коммуникации информационных агентов. Кроме тезаурусов онтологии ассоциируются с такими формами организации знаний, как классификации, таксономии, глоссарии, словари, фреймы, графы знаний², семантические сети. Перечисленные формы непосредственно разрабатываются с участием экспертов, а для систем автоматизированного ведения онтологий применяются вычислительные методы на основе формализованного представления объектов (процессов) и отношений между ними [16]. Под таксономией будем понимать иерархическую структуру терминов, которую можно использовать для локализации, описания, идентификации, восстановления и/или управления информацией и знаниями³.

При разработке модели онтологии необходимо выбрать структуру понятийного множества (иерархическую, сетевую и т. д.), задать признаки (характеристики) объектов онтологии в ПОИ и определить типы отношений (связей) между понятиями (объектами). Применение декларативно-процедурных интерпретаций позволяет соотносить содержательно-смысловую информацию о явлениях, событиях и свойствах объектов (декларативные знания) с процедурными знаниями (способами, методами решения задачи), направленными на получение прагматической информации.

В формализованном виде модель онтологии можно представить, как [17]:

² McHugh J. Taxonomies, ontologies, semantic models & knowledge graphs. URL: <https://medium.com/@jim.mchugh/> (дата обращения: 02.01.2023).

³ ГОСТ Р 53894–2016. Менеджмент знаний. Термины и определения. (Введ. с 2017-06-01). (п. 2.80).

$$O = (Ter, \mathfrak{S}(R), \Phi), \tag{1}$$

где Ter – множество объединяемых в рассматриваемой онтологии понятий, $|\mathfrak{S}(R)| = \mathfrak{S}(Ter) \neq \emptyset$; $\mathfrak{S}(R) = \{R | R: Ter^2 \rightarrow [0,1]\}$ – множество нечетких отношений между понятиями $\Phi = \{m\}$; – множество функций интерпретации, заданных на понятиях и/или отношениях онтологии, а функции интерпретации $F_i: Y^m \rightarrow Y$ определяют область интерпретации – Y .

Понятие «онтология» зачастую применяют только для спецификации знаний предметной области, например, при составлении словарей или многоуровневых классификаций, а не для решения задач, связанных с более сложными технологиями: переработки знаний, подготовки принятия решений и т. д. Для последних все чаще используется концептуальное представление сложных систем, например, при разработке БДЗ, когда результатом является концептуализация модели решаемой задачи [18].

В формализованном структурном виде в рамках общей теории систем онтология может быть представлена как совокупность следующих взаимосвязанных систем [16]:

$$O \subset S_\Phi \times S_\Pi \times S_{Op}, \tag{2}$$

где S_Φ – функциональная система (ФС), включающая функциональные объекты и связи, участвующие в исследуемом функциональном процессе: для СПР это могут быть процедуры формирования решений (правила, сценарии, критерии). Соответственно для функциональных систем из выражения (2) различного целевого применения совокупность взаимодействующих объектов представим кортежем вида:

$$S_\Phi = \langle B_i^\Phi, P_i^\Phi, R_i^\Phi \rangle, \tag{3}$$

где B_i^Φ – множество сущностей для i -й ($i = \overline{1, N}$) ФС, P_i^Φ – множество характеристических признаков, – множество функциональных отношений, соответствующих ситуативным схемам взаимодействия объектов i -й ФС;

S_Π – понятийная (терминологическая) система, которую по аналогии с (3) представим кортежем вида:

$$S_\Pi = \langle B_j^\Pi, P_j^\Pi, R_j^\Pi \rangle, \tag{4}$$

где B_j^Π – множество понятий для j -й ($j = \overline{1, M}$) ПОИ, P_j^Π – множество признаков систематизации понятий (классификационных признаков для случая, когда онтология представляется в виде классификационной схемы), R_j^Π – множество отношений понятийной системы;

S_{Op} – система операций сопоставления понятий есть объединение возможных математических структур g -го типа из заданного множества :

$$S_{Op} = \bigcup_g R_g; R_g: b_k^j \leftrightarrow b_{(\cdot)}^j, \tag{5}$$

где R_g – отношения из состава множества, включающего конечный набор математических структур (знаний, сценариев действий) вида:

$$G = \{ \text{частичного порядка; эквивалентности; толерантности; ... } \},$$

обеспечивающие сопоставление k -го понятия b_k^j , $k = \overline{1, K}$ с любым, обозначенным в выражении (5) символом (\cdot) , соседним (связанным) понятием в соответствии со структурой для j -й ПОИ.

Для взаимодействия между системами (2)–(5) используются программные агенты. При этом тезаурус агента в рамках тезаурусного подхода может быть представлен в виде многослойной нечеткой сети [13]:

$$T_A = \langle L, B, R, \alpha, \beta \rangle, \tag{6}$$

где $L = L_1 \times \dots \times L_n$ – множество языков представления ПОИ, $n \geq 1$ обычно при интеграции различных ПОИ;

$B \subset L$ – множество понятий (терминов), суждений;

R – множество отношений, семантических связей между понятиями;

$\{\alpha\}: B \rightarrow [0, 1]$ – функция принадлежности, которая упорядочивает термины из множества U ;

$\{\beta\}: R \rightarrow [0, 1]$ – аналогично, функция принадлежности для множества связей между понятиями, причем $\beta_j \in [0, 1]$ – вес связи $r_j \in R$.

Онтология – жесткая модель данных, которая определяет только вещи в нашей экосистеме и свойства, используемые для их описания. В онтологии обобщенные модели данных создаются на основе общих свойств без предоставления конкретной информации.

Три основных компонента выделяют в задачах формализации и для аналитического исследования возможностей онтологии, а именно:

- **классы**: линейные элементы вещей, которые существуют в данных;
- **связи**: элементы структуры, что обеспечивает взаимосвязь между одним и многими классами;
- **атрибуты**: определяют свойства, которые используются для описания отдельного класса или объекта.

Другая активно используемая модель структуризации – граф знаний (ГЗ). ГЗ представляет собой сеть узлов, связанных друг с другом. Каждый узел соответствует определенному понятию, а связи между ними отображают смысловые отношения. Благодаря этому, граф знаний позволяет компактно представить большое количество информации и облегчает

ее понимание. ГЗ создает структуру для получения контекста в данных с помощью связующих и семантических метаданных. Таким образом, графы знаний обеспечивают основу для объединения, анализа, обмена данными и получения выводов.

ГЗ использует онтологию в качестве основы для пополнения реальных данных и придания им веса. Можно добавить гранулированные данные, такие как идентификационная информация и информация, важная для объекта или класса объектов. Графы являются основой для реализации возможностей ИИ и машинного обучения благодаря учету свойств отношений между узлами графа. Анализ взаимосвязи между узлами позволяет корректировать модели данных и знаний, управлять качеством целевой системы (СПР, робототехнической системы и др.), основываясь на алгоритмах ИИ. ГЗ находят применение в киберфизических структурах современного производства в результате взаимодействия цифровых технологий: производственного интернета вещей, ИИ, облачных вычислений и больших данных [4, 15].

Онтология – основа для графа знаний. Упрощенно можно заключить, что онтология + данные = граф знаний.

Включение графа знаний в процесс исследования для управления знаниями имеет решающее значение: можно своевременно актуализировать данные и знания, «заставляя данные работать».

РОЛЬ И МЕСТО ИНТЕГРАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

В условиях системного многообразия понятийную структуру предметной области стоит рассматривать как некоторую метасистему⁴, объединяющую неоднородные системы, подсистемы и иные организационные образования. Такая метасистема также может служить институциональным конструктом, формирующим определенное информационное и технологическое пространство с помощью созданного межсистемного тезауруса.

Межсистемный тезаурус позволяет установить единый продуктивный язык для использования в рамках этой метасистемы. Создание метасистем и межсистемных тезаурусов позволяет эффективно использовать, обмениваться знаниями и опытом в рамках ПОИ. Для структурированной системы характерно, что все ее элементы вовлечены в информационные (технологические) процессы, а для метасистемы – это только функционально нагруженные элементы, то есть участвующие в данном (ситуационном) информационном процессе.

На уровне онтологий решаются задачи интеграции данных и знаний, унификации онтологических моделей в ус-

ловиях неоднородности данных в контексте прикладного аспекта манипулирования данными, например, результатами проводимых испытаний программных средств, специфика которых заключается в фиксации и контроле требуемых значений анализируемых признаков качества [17]. В таком случае онтология позволяет накапливать непротиворечивую информацию в заданном формате, что актуально для корректной идентификации информационных ресурсов независимо от представления отдельных формулировок и понятий различными производителями (с учетом требований к верификации данных, их полноте, достоверности и непротиворечивости).

Для метасистемного подхода характерны три особенности, коррелирующие с указанными выше признаками и отличающие его от традиционного системного подхода:

1. Элементы метасистемы в значительной степени самодостаточны и независимы друг от друга.
2. В любой момент времени в метасистеме функционируют не все элементы, а лишь один либо группа выбранных.
3. В метасистеме количество элементов удовлетворяет другим критериям и должно быть оптимальным в соответствии с ними.

Примером метасистем может служить набор нескольких технологий изготовления продукции, обучения, лечения и т. д. Метасистемный подход позволяет расширить круг объектов управления в сторону возрастания сложности за счет включения в состав метасистемы управления разнородных регуляторов и адекватного применения процедур их замены. При этом в зависимости от решаемой задачи можно выбирать одну либо группу параллельно функционирующих технологий. Исходя из этого выделяются два класса метасистем: последовательного и параллельного действия.

Задача интеграции знаний при таком подходе может быть представлена путем расширения графа знаний за счет включения в понятийную структуру новых толкований для уже используемых понятий. Создание мультидисциплинарных знаний связано с интеграцией онтологий соответствующих ПОИ, интегрированный онтограф можно представить в виде [9]:

$$O^u = \bigcup_j O_j, j = \overline{1, M}, \quad (7)$$

где O_j – онтология j-й предметной области.

Объединение будем представлять как концептуальную системную интеграцию ГЗ смежных предметных областей. Характеристикой результирующего онтографа (7) могут быть различные параметры графов (число вершин, связей и др.). Так, в [] предлагается оценивать объем знаний (V)

⁴ Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990, 544 с.

без учета типов отношений между вершинами при древовидной структуре онтографа суммой вида:

$$V = \sum_j \sum_h o_j w_h^j,$$

где w_h^j – степень инцидентности h -й вершины для j -й ПОИ.

Вопросы формирования, управления, объединения, сравнения знаний тесно связаны с необходимостью их шкалирования на семантическом уровне, когда оценивается ситуативная близость определенных понятий (например, в процессе применения, разработки способов запоминания человеком информации путем ассоциативного ее упорядочения и др.). Поэтому все активнее в компьютерных системах представления знаний реализуются свойства внешней интерпретации, описания родовидовых связей и учет вероятностных шкал. Под интерпретацией здесь подразумевается анализ семантических свойств (качеств) информации (данных) с целью придания им нового контекстно-зависимого смыслового содержания.

Онтологический аспект в системе понятий (концептов, сущностей, классов) как основа структуризации баз знаний служит формой перехода от естественного языка к его машинной реализации. Это актуально при разработке приложений для информационного поиска, для автоматиче-

ской обработки текстовой информации, при составлении терминологических словарей, рубрикаторов предметных областей, классификационных схем, а также для интеграции информационных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущество подходов, основанных на онтологии, заключается в том, что фрагменты знаний не зависят от функциональных задач и могут совместно использоваться в различных робототехнических приложениях. Однако при формировании дерева знаний, структурировании фрагментов следует учитывать прагматику ПОИ.

Задачей дальнейших исследований видится развитие семантической структуризации текстовых документов, их разделами могут выступать, например, аннотации (реферат), библиография, терминологический блок. Это особенно важно для документов по стандартизации, которые во многом благодаря своей инновационной ценности определяют смысловое содержание (семантическую составляющую) и целевую направленность (прагматическую составляющую) развития базы знаний в области стандартизации. В перспективе не исключена реализация семантической паутины для организации машиночитаемости веб-контента путем подключения метаданных к онтологиям, формирующим предметные области исследования.

Список использованных источников и литературы

1. Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С. Научные коммуникации и информатика. – М.: Наука, 1976. – 436 с.
2. Барахнин В.Б., Федотов А.М. Модели документального и фактографического поиска для интеллектуальных информационных систем // Cloud of Science. 2014. Т. 1, № 4. С. 528–548.
3. Бова В.В. Концептуальная модель представления знаний при построении интеллектуальных информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 7 (156). С. 109–117.
4. Муромцев Д., Волчек Д., Романов А. Индустриальные графы знаний – интеллектуальное мышление цифровой экономики // Control Engineering Россия. 2019. № 5. С. 32–39.
5. Бениаминов Е.М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. – М.: Научный мир, 2003. – 184 с.
6. Бурый А.С. Формирование терминосистем на основе онтологий // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 4–11.
7. Бурый А.С., Балванович А.В. Организационные аспекты цитирования научных публикаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 1 (53). С. 77–85.
8. Антонов В.В., Конев К.А. Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 1 (39). С. 126–136. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136>
9. Кравченко Ю.А. Задачи семантического поиска, классификации, структуризации и интеграции информации в контексте проблем управления знаниями // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 7 (180). С. 5–18. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2016-7-518>
10. Гарбук С.В. Метод оценки влияния параметров стандартизации на эффективность создания и применения систем искусственного интеллекта // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 3 (67). С. 4–14.
11. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Перспективы стандартизации информационного пространства умного города // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 2 (66). С. 4–11.
12. Старых В.А., Башмаков А.И., Белоозеров В.Н. Информационные ресурсы для сферы образования: каталогизация, классификация, онтология // Информационные системы и технологии. 2013. № 6 (80). С. 88–102.

13. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
14. Бурый А.С., Усцелемов В.Н. Онтологический подход к формированию когнитивных моделей оценки кибербезопасности // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 3 (55). С. 77–84.
15. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26>
16. Максимов Н.В., Лебедев А.А. Онтологическая система «знания-деятельность» // Онтология проектирования. 2021. Т. 11. № 2(40). С. 185–211. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211>
17. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий / Под ред. А.С. Бурого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2019. – 160 с.
18. Ломако Е.И. Математические и понятийные средства систематики. – М.: Системная энциклопедия, 2008. – 112 с.

STRUCTURING OF ONTOLOGIES IN INTERDISCIPLINARY SUBJECT AREAS

Buryi A.S., Dr. Sc. (Technology), Department Director at the FSBI «RSI»

A conceptual approach to the integration of ontologies of subject areas of research is proposed to ensure the interoperability of information systems at the structural level. A two-stage process of formation of integrated ontologies is proposed, including, firstly, the integration of the functional structure of an object, its conceptual system and algebraic representation in the formation of relations between concepts and, secondly, the construction of an ontograph combining the knowledge graphs of an interdisciplinary subject area.

The methodological basis of the research is a systematic approach, conceptual and logical modeling, methods of scientific prognostics. The purpose of this article is to study the existing scientific and methodological basis for the development of the concept of knowledge structuring based on the development of an ontological approach and multi-agent representation of the dynamics of interaction of information systems during the formation, integration, storage and exchange of knowledge. This approach can be used in the tasks of knowledge integration in the construction of ontologies of interdisciplinary subject areas.

Keywords: ontological model, integration of ontologies, system and metasystem approach, knowledge, knowledge graph, ontograph.

References

1. Mikhajlov A.I., Chernyj A.I., Gilyarevskij R.S. Nauchnye kommunikatsii i informatika. Moscow, Nauka, Publ., 1976. 436 p.
2. Barakhnin V.B., Fedotov A.M. Modeli dokumental'nogo i faktograficheskogo poiska dlya intellektual'nykh informatsionnykh sistem. Cloud of Science. 2014, vol. 1, no. 4, pp. 528–548. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Bova V.V. Kontseptual'naya model' predstavleniya znaniy pri postroenii intellektual'nykh informatsionnykh sistem. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2014, no. 7(156), pp. 109–117. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Muromtsev D., Volchek D., Romanov A. Industrial'nye grafy znaniy – intellektual'noe myshlenie tsifrovoj ehkonomiki. Control Engineering Rossiya. 2019, no. 5, pp. 32–39. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Beniaminov E.M. Algebraicheskie metody v teorii baz dannykh i predstavlenii znaniy. Moscow, Nauchnyj mir, Publ., 2003. 184 p.

6. Buryi A.S. Formirovanie terminosistem na osnove ontologij. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 1 (65), pp. 4–11. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Buryi A.S., Balvanovich A.V. Organizatsionnye aspekty tekhnologij tsitirovaniya nauchnykh publikatsij. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2020, no. 1(53), pp. 77–85. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Antonov V.V., Konev K.A. Intellektual'nyj metod podderzhki prinyatiya reshenij v tipovoj situatsii. Ontologiya proektirovaniya. 2021, vol. 11, no. 1(39), pp. 126–136. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136>
9. Kravchenko YU.A. Zadachi semanticheskogo poiska, klassifikatsii, strukturizatsii i integratsii informatsii v kontekste problem upravleniya znaniyami. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2016, no. 7(180), pp. 5–18. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2016-7-518> (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Garbuk S.V. Metod otsenki vliyaniya parametrov standartizatsii na ehffektivnost' sozdaniya i primeneniya sistem iskusstvennogo intellekta. Informatsionno-ehkonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 3(67), pp. 4–14. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Perspektivy standartizatsii informacionnogo prostranstva umnogo goroda. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 2(66), pp. 4–11. (In Russ., abstr. in Engl.).
12. Saryh V.A., Bashmakov A.I., Beloozerov V.N. Informacionnye resursy dlya sfery obrazovaniya: katalogizatsiya, klassifikatsiya, ontologiya. Informacionnye sistemy i tekhnologii. 2013, no. 6(80), pp. 88–102. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS, Publ., 2002. 352 p.
14. Buryi A.S., Uscelemov V.N. Ontologicheskij podhod k formirovaniyu kognitivnyh modelej ocenki kiberbezopasnosti. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2020, no. 3(55), pp. 77–84. (In Russ., abstr. in Engl.).
15. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye struktury umnogo goroda na osnove kiberfizicheskikh sistem. Pravovaya informatika, 2022, no. 4, pp. 15–26. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26> (In Russ., abstr. in Engl.).
16. Maksimov N.V., Lebedev A.A. Ontologicheskaya sistema "znaniya-deyatelnost' ". Ontologiya proektirovaniya. 2021 vol. 11, no. 2(40), pp. 185–211. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2021-11-2-185-211> (In Russ., abstr. in Engl.).
17. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki kachestva programmyh izdelij / Pod red. A.S. Burogo. Moscow, Publ., Goryachaya liniya – Telekom, Publ., 2019, 160 p.
18. Lomako E.I. Matematicheskie i ponyatijnye sredstva sistemantiki. Moscow, Publ., "Sistemnaya enciklopediya", 2008, 112 p.