

Об основных понятиях Единого цифрового пространства научных знаний

О.М.Атаева¹, Н.Е. Каленов^{1,2}, В.А.Серебряков¹

¹*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, ул. Вавилова, 40*

²*Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН*

Аннотация. В настоящее время возникает огромное количество источников информации, которые предоставляют данные в разных видах и форматах и представлениях. Несмотря на развитие технических средств, усложняются процессы, связанные с поиском полной и точной научной информации. Для выхода на новый уровень в использовании технологий обработки информации, в первую очередь, необходим переход к семантически значимому представлению научных знаний, извлекаемых из информации в цифровой среде. В современных условиях, характеризуемых мультидисциплинарностью исследований, необходимого эффекта можно достичь, разработав универсальные подходы к хранению и представлению научных знаний. Эти подходы нашли свое отражение в концепции создания Единого цифрового пространства научных знаний. В работе представлен обзор основных понятий в этой области, использующихся как для представления элементов пространства, так и для обеспечения доступа к ним не только для человека, но и для программных агентов, что открывает широкие возможности их обработки и использования в различных областях потребления заинтересованными участниками научной деятельности.

Ключевые слова: пространство знаний, цифровое пространство знаний, онтологии, метаданные, научные знания, уровни метаданных, проектирование онтологии.

The basic concepts of a common digital space of scientific knowledge

O.M.Ataeva¹, N.E. Kalenov¹, V.A.Serebryakov¹

¹*Dorodnicyn Computing Center FRS «Computer Sciences and Control», Russian Academy of Sciences, Vavilov str., 40, Moscow, 119333, Russia*

Abstract. Currently appeared a huge number of sources of information that provide data in different types and formats and representations. Despite the development of technical tools, the processes associated with the search for complete and accurate scientific information are becoming more complicated. To reach a new level in the use of information processing technologies, first of all is necessary a transition to a semantically meaningful presentation of scientific knowledge extracted from information in a digital environment. In modern

conditions, characterized by multidisciplinary research, the necessary effect can be achieved by developing universal approaches to the storage and presentation of scientific knowledge. These approaches are reflected in the concept of creating a unified digital space of scientific knowledge. The paper provides an overview of the basic concepts in this area, which are used both to represent the elements of space and to provide access to them not only for humans, but also for software agents, which opens up wide possibilities for their processing and use in various fields of consumption by interested participants in scientific activities.

Keywords: knowledge space, digital space of knowledge, ontology, metadata, scientific knowledge, metadata levels, ontology design.

Введение

В настоящее время происходит бурное развитие цифровизации многих сторон жизни общества, лавинообразно нарастают объемы информации, интенсивно развиваются информационные ресурсы различного типа, возникают новые направления, широко использующие цифровое представление научных ресурсов. Возникает огромное количество источников информации, которые предоставляют данные в разных видах и форматах и представлениях. Несмотря на развитие технических средств, усложняются процессы, связанные с поиском полной и точной научной информации, резко возрастает время, необходимое на обработку информации. С появлением парадигмы Semantic Web для решения этих проблем делаются попытки формализации знаний в различных областях науки на основе разрабатываемых онтологий. Это дает возможность семантической обработки информации, извлечения новых знаний.

Для выхода на новый уровень в использовании возможностей бурно развивающихся сегодня технологий обработки информации, в первую очередь, необходим переход к семантически значимому представлению научных знаний, извлекаемых из информации в цифровой среде. Хотя каждая область науки имеет свою специфику, в современных условиях, характеризующихся мультидисциплинарностью исследований, взаимопроникновением научных направлений, необходимого эффекта можно достичь только разработав универсальные подходы к хранению и представлению научных знаний. Эти подходы нашли свое отражение в концепции создания Единого цифрового пространства научных знаний (ЕЦПНЗ) [1, 2]

Развитие технологий позволяет шире взглянуть на определение ЕЦПНЗ и обобщить накопившийся опыт в реализации различных решений в этой области. Далее представлен обзор основных понятий в этой области, использующихся как для представления элементов пространства, так и для обеспечения доступа к ним не только для человека, но и для программных агентов, что открывает широкие возможности их обработки и использования в различных областях потребления заинтересованными участниками научной деятельности.

Системность научной информации [4, 5] подразумевает опору на исследование разнообразных зависимостей. Спецификой такой информации является четкая структура организации научных данных в иерархические структуры, пронизанные горизонтальными связями. Как следствие, обеспечивается однозначная интерпретация научного знания различными исследователями. Основная проблема представления научной информации состоит в сложности используемых понятий и отношений между ними. Эти понятия подвержены более частому изменению структур данных, что неизбежно приводит к необходимости внесения доработок в ее описание.

Определение *научных знаний* тесно связано с понятием *научной информации*, которая определяется по ГОСТ 7.0-99 [6] как логически организованная информация, получаемая в процессе научного познания и отображающая явления и законы природы, общества и мышления. Как видно из определения эти два понятия *научная информация* и *научные знания* часто используются как синонимы. Далее в тексте используется термин *научные знания*, на наш взгляд, наиболее точно отражающее смысл.

Составляющие ЕЦПНЗ

Под *пространством научных знаний* понимается проверенная научным сообществом система знаний из разных областей науки. При этом *цифровое пространство научных знаний* (ЦПНЗ) представляет собой цифровую среду, в которую интегрированы проверенные научным сообществом информационные ресурсы и объекты, отражающие научные знания из некоторой области науки. Подпространство ЦПНЗ является частью пространства, ограниченного рамками определенной предметной области. Фактически ЕЦПНЗ состоит из совокупности подпространств, относящихся к различным направлениям науки, построенных по единым принципам.

Несмотря на то, что существуют отдельные примеры формализации знаний в разных предметных областях [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15], обобщенный подход к определению цифрового пространства научных знаний отсутствует. Анализ примеров формализации пространства знаний в различных областях свидетельствует о том, что основными составляющими ЕЦПНЗ в целом и каждого его подпространства в частности являются – *онтология* и *контент*.

В качестве *контента* рассматривается совокупность цифровых копий объектов реального мира и описание профилей их метаданных, тогда как *онтология* включает универсальное описание структуры данных ЕЦПНЗ. Т.е. онтология ЕЦПНЗ содержит классы объектов, отражаемых в каждом подпространстве, виды связей между этими классами и их объектами как внутри одного подпространства, так и между подпространствами, а также правила отражения объектов в ЕЦПНЗ.

Подходы к построению онтологии ЕЦПНЗ

Построение онтологии подпространства ЕПНЦЗ может быть представлено с точки зрения двух ортогональных подходов:

1. вводятся термины, характерные для рассматриваемой научной предметной области, соединенные различными связями как иерархическими, так и горизонтальными;
2. вводится набор определений, который на более абстрактном уровне описывает множества объектов научной предметной области, фактически задавая структуру их описания и отношений между ними.

В различных исследованиях [3, 7, 8, 9, 10, 16, 17] в обоих случаях говорят или о построении тезауруса предметной области, или о построении онтологии предметной области. Но, по сути, это два совершенно разных подхода к описанию предметной области, которые не являются при этом взаимоисключающими, а должны дополнять друг друга. Такой подход позволяет, с одной стороны, отдельно сконцентрироваться только на типах информационных ресурсов, которые являются элементами пространства знаний, и описать основные понятия, характерные для этой предметной области. С другой стороны, говоря о тезаурусе, надо иметь в виду набор понятий и терминов, которые обеспечивают терминологическую поддержку понятий онтологии предметной области. Исходя из вышесказанного, тезаурус пространства знаний – это полный систематизированный набор терминов какой-либо области знаний, в значительной мере и больше относящийся к лексике, используемой в конкретной области, тогда как онтология описывает ресурсы предметной области и их взаимосвязи. Для каждой предметной области набор ресурсов может отличаться как по формату, так и по набору самих ресурсов.

Онтология научного пространства знаний - это сложная многоуровневая система понятий, описывающих ресурсы и объекты предметной области, концептов, терминов и связей между ними, характеризующаяся открытой иерархической и динамичной структуризацией и служащая как для хранения существующих знаний и их структуризации, так и для извлечения новых.

Проектирование онтологии ЕЦПНЗ

Исходя из классического определения онтологии по Груберу [18], контент ЕЦПНЗ, выделенный как отдельная его составляющая, представляет собой онтологию некоторого конкретного подпространства (спецификация концептуализации), которая в свою очередь опирается на более абстрактную систему понятий онтологии ЕЦПНЗ.

Проектирование общесистемной части онтологии ЕЦПНЗ предполагает выделение совокупности универсальных и общесистемных классов, определение их атрибутов. Среди универсальных классов выделяются общесистемные классы, экземпляры объектов которых могут одновременно относиться к различным подпространствам. К ним относятся персоны (один

ученый может работать в различных областях науки), организации (одна организация может заниматься политематическими исследованиями), географические понятия, политематические журналы, сборники, базы данных и др.

Наряду с такими классами в каждом подпространстве могут существовать классы, специфичные именно для данного подпространства. Проектирование контента тематического подпространства включает создание его предметной онтологии, определение специфичных для данного научного направления классов объектов и их атрибутов. Предметная онтология подпространства включает в себя совокупность индексов классификационных систем, ключевых терминов с их тезаурусными связями, относящихся к данному научному направлению, совокупность специфичных для подпространства метаданных.

Уровни метаданных онтологии ЕЦПНЗ

Фактически, решая задачу проектирования онтологии, приходим к необходимости использования метаданных разного уровня:

1. метаданные как универсальные понятия ЕЦПНЗ;
2. метаданные как часть описания объектов прикладной области или подмножества ЕЦПНЗ;
3. метаданные прикладной области как таковые.

В такой онтологии на верхнем уровне используются понятия, по сути своей относящиеся к высокоуровневым онтологиям и не связанные со спецификой какой-то конкретной предметной области. На втором уровне используются понятия, описывающие предметную область, при этом являющиеся экземплярами классов, определенных на первом уровне, но при этом используемые как определения классов для описания данных третьего уровня уже в конкретной предметной области.

Иными словами, на первом уровне даются определения основных понятий, которые используются при формировании ЕЦПНЗ, в том числе:

- тематическое подпространство;
- контент ЕЦПНЗ (совокупность информационных объектов);
- информационный объект (цифровая копия объекта реального мира или специально созданный цифровой объект, отражающий определенные свойства реального объекта);
- идентификатор информационного объекта – элемент данных, позволяющий однозначно идентифицировать объект в ЕЦПНЗ;
- атрибуты цифрового объекта (набор метаданных (свойств объекта), характеризующих объект с точки зрения задач ЕЦПНЗ);
- источник данных (объект реального мира, содержащий информацию, отраженную в атрибутах цифрового объекта);

- предметная онтология подпространства – совокупность индексов классификационных систем, ключевых терминов с их тезаурусными связями, относящихся к данному научному направлению;
- предметная онтология ЕЦПНЗ – совокупность предметных онтологий отдельных подпространств;
- тезаурусные связи – связи между двумя элементами предметной онтологии А и В, принимающие одно из 4-х значений: «А эквивалентно В», «А входит в В», «А содержит В», «А пересекается с В»;
- локальный класс объектов – объекты, относящиеся к одному тематическому подпространству
- универсальный класс объектов – объекты, связанные с несколькими тематическими подпространствами

На втором уровне мы описываем понятия конкретной предметной области как экземпляры классов первого уровня, т.е. например, конкретный тезаурус, конкретный типы информационных ресурсов, типы источников данных и т.д.

Понятия второго уровня используются как определения классов на третьем уровне при заполнении онтологии данными, которые являются экземплярами классов второго уровня.

При этом, если новые введенные понятия являются на втором уровне экземплярами обозначенных ресурсов первого уровня, то при наполнении онтологии ЕЦПНЗ мы используем их в качестве классов для описания данных. Рассмотрение экземпляров в качестве классов называют *метамоделированием*. И хотя даже прямая семантика языка онтологий OWL2, используемого для описания онтологий, не позволяет такого метамоделирования, это ограничение в языке обходится с помощью синтаксического трюка, известного под названием *running*. Это означает, что когда идентификатор экземпляра встречается в аксиоме класса, то он рассматривается как класс, а когда этот же идентификатор встречается в отдельном утверждении, то рассматривается как экземпляр.

Итак, выполняя построение онтологии подпространства ЕЦПНЗ или конкретной предметной области, фактически конструируется трехуровневая онтология, в которой экземпляры первого уровня - это высокоуровневые понятия, на втором уровне описываются понятия конкретной предметной области как экземпляры в терминах первого уровня и используются как определения классов на третьем уровне при заполнении онтологии данными.

Пример

Рассмотрим в качестве примера реализации пространства ЕЦПНЗ для области «Математика» и ее подпространства обыкновенных дифференциальных уравнений (далее ОДУ). На основе предложенного подхода было выполнено конструирование многоуровневой онтологии. В качестве тезауруса использован тезаурус ОДУ [19]. Особенность этого

тезауруса заключается в том, что он содержит не только сами понятия и термины, но и ссылки на публикации, в которых вводятся/определяются эти понятия, их математические записи. Также использованы различные математические классификаторы, такие, как MSC и математическая часть УДК, статьи математической энциклопедии. Структура понятий математической энциклопедии не обладает иерархией как таковой, но благодаря использованию связанных с понятиями кодов MSC удалось выделить тематически связанные термины отдельных разделов математики. Были отдельно выделены формулы и каждому понятию при возможности был сопоставлен набор соответствующих формул.

В качестве информационных ресурсов здесь использовались такие ресурсы, как события, теоремы, персоны, публикации. Отдельно выделяются формулы, поскольку математика подразумевает их наличие. Это семантический объект с разными связями. Формулы могут быть связаны с разными объектами, обладать различными метками и т. д. В качестве источников данных были использованы два крупных источника: это DBpedia и MathNet.

В качестве контента были использованы около 4000 публикаций, формулы, персоны, статьи математической энциклопедии. Формулы были извлечены из описаний математических текстов и на основе этих данных были сформулированы и выведены дополнительные связи: между MSC и УДК, между формулами и MSC, формулами и УДК и т. д.

Рассмотрим кратко как для описания тезауруса ОДУ базовая онтология тезауруса расширяется на втором уровне для того, чтобы учесть все особенности модели этого тезауруса. Рассмотрим понятия, необходимые для описания на всех уровнях онтологии и связи между ними:

1. На первом уровне используются классы, необходимые для описания общей модели, такие как *информационный ресурс*, *тезаурус*, *концепт*, *атрибут тезауруса* и т.д.
2. На втором уровне описываются понятия конкретной предметной области как экземпляры в терминах первого уровня:
 - a. *Математическая запись* – экземпляр класса *атрибут тезауруса*. Используется для хранения строки формулы;
 - b. *Математическое примечание* - также экземпляр класса *атрибут тезауруса*. Используется для хранения текста с формулами;
 - c. *Литература* – экземпляр класса *информационный ресурс*, для описания литературы включённой в тезаурус ОДУ.
3. На третьем уровне используем понятия первого и экземпляры второго уровней как определения классов на третьем уровне при заполнении онтологии данными.

Для поддержки формул в онтологию на втором уровне было введено понятия *Формула*, которое позволяет хранить оригинальную строку формулы из источника и связано отношениями с *информационными объектами* и *понятиями* тезауруса. Таким образом, можно построить сеть связей формулы

с различными объектами, составляющими контент рассматриваемого подпространства.

С использованием такого подхода к описанию онтологии для каждой публикации на основе ее названия, аннотации и ключевых слов были выявлены связи с тезаурусом ОДУ. В качестве семантических меток были использованы термины математической энциклопедии. Такое связывание позволило выявить с некоторой долей вероятности статьи, относящиеся к предметной области ОДУ в имеющемся наборе публикаций, выявить межпредметные связи и рубрики, и организовать их в коллекции на основе тезауруса и выявленных семантических меток.

Выводы

В этой статье были рассмотрены основные принципы построения онтологии ЕЦПНЗ. Был рассмотрен набор основных понятий для построения описания произвольной предметной области. Продемонстрирован пример разработки онтологии ЕЦПНЗ для предметной области «математика». Дальнейшие работы ориентированы на использование математического аппарата, лежащего в основе дескриптивных логик, на которых базируются онтологии, и использовании средств логического вывода новых фактов на основе имеющихся в связке с алгоритмами из области text mining для обработки текстов. Такой подход позволяет выявлять скрытые знания и находить противоречия в имеющихся, что повышает достоверность знаний.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты №20-07-00324, 18-00-00297, 18-00-00372.

Литература

1. Антопольский А.Б., Каленов Н.Е., Серебряков В.А., Сотников А.Н. О едином цифровом пространстве научных знаний // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 7. С. 728-735.
2. Антопольский А.Б. и др. Принципы построения и структура единого цифрового пространства научных знаний (ЕЦПНЗ) // Научно-техническая информация. Сер. 1. 2020. № 4. С. 9 – 17.
3. Муромский А. А., Тучкова Н. П. Представление математических понятий в онтологии научных знаний //Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9. – №. 1 (31).
4. Губанов Николай Иванович, Губанов Николай Николаевич, Волков Андрей Эдуардович. "Критерии истинности и научности знания" Философия и общество, no. 3 (80), 2016, pp. 78-95.: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-istinnosti-i-nauchnosti-znaniya>
5. Ильин В. В., Калинин А. Т. Природа науки: Гносеологический анализ. М.: Высшая школа, 1985. – 230 с.

6. ГОСТ 7.0-99 Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.0-99 "Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения" (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 7 октября 1999 г. N 334-ст)
7. Гуревич И.Б. , Трусова Ю.О. Тезаурус и онтология предметной области "Анализ изображений" // Всероссийская конф. с междунар. участием "Знания – Онтологии – Теории" (ЗОНТ–09). – Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2009. – 10 с.
8. Hlava M. M. K. The Taxobook: History, Theories, and Concepts of Knowledge Organization, Part 1 of a 3-Part Series //Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 3. – С. 1-80.
9. Hlava M. M. K. The taxobook: Principles and practices of building taxonomies, part 2 of a 3-part series //Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 1-164.
10. Hlava M. M. K. The Taxobook: Applications, Implementation, and Integration in Search: Part 3 of a 3-Part Series //Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 1-156.
11. Бездушный А.Н., Жижченко А.Б., Кулагин М.В., Серебряков В.А. Интегрированная система информационных ресурсов РАН и технология разработки цифровых библиотек. Программирование, 2000, 4, с. 3-14.
12. Ахлестин А.Ю., Лаврентьев Н.А., Фазлиев А.З. Систематизация научных графических ресурсов по молекулярной спектроскопии // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 34-42. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/39.pdf> doi:10.20948/abrau-2017-39
13. Сотников А. Н. и др. Принципы построения и формирования электронной библиотеки «Научное наследие России» //Программные продукты и системы. – 2012. – №. 4.
14. Елизаров А. М. и др. Онтологии математического знания и рекомендательная система для коллекций физико-математических документов //Докл. РАН. – 2016. – Т. 467. – №. 4. – С. 392-395.
15. Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». – 2008. – С. 54
16. Dextre Clarke S. G., Zeng M. L. From ISO 2788 to ISO 25964: The evolution of thesaurus standards towards interoperability and data modelling //Information Standards Quarterly (ISQ). – 2012. – Т. 24. – №. 1.
17. Костин В. В. Обзор семантических моделей, описывающих научные публикации и научно-исследовательскую деятельность // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. 2014.

18. Gruber T. Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS). – 2007. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-11.
19. Муромский А. А., Тучкова Н. П. О тезаурусе для предметной области "Обыкновенные дифференциальные уравнения". – Вычисл. центр им. АА Дородницына РАН, 2004.

References

1. Antopolskiy A. B., Kalenov N. E., Serebryakov V. A., Sotneykov A. N. Common digital space of scientific knowledge // Vestn. Ros. akad. nauk. – – 2019. – Т. 89. – № 7. – S. 728–735
2. Antopolskiy A. B., Principy postroeniya i struktura edinogo cifrovogo prostranstva nauchnyh znaniy Nauchno tekhnicheskaya informaciya. Ser. 1. 2020. № 4 S. 9 – 17
3. Muromskij A. A., Tuchkova N. P. Predstavlenie matematicheskikh ponyatij v ontologii nauchnyh znaniy // Ontologiya proektirovaniya. – 2019. – Т. 9. – №. 1 (31).
4. Gubanov Nikolaj Ivanovich, Gubanov Nikolaj Nikolaevich, Volkov Andrej Eduardovich. "Kriterii istinnosti i nauchnosti znaniya" Filosofiya i obshchestvo, no. 3 (80), 2016, pp. 78-95.: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-istinnosti-i-nauchnosti-znaniya>
5. Il'in V. V., Kalinkin A. T. Priroda nauki: Gnoseologicheskij analiz. M.: Vysshaya shkola, 1985. – 230 s.
6. GOST 7.0-99 Mezhhgosudarstvennyj standart GOST 7.0-99 "Sistema standartov po informacii, biblioteknomu i izdatel'skomu delu. Informacionno-bibliotekhnaya deyatel'nost', bibliografiya. Terminy i opredeleniya" (vveden v dejstvie postanovleniem Gosstandarta RF ot 7 oktyabrya 1999 g. N 334-st)
7. Gurevich I.B. , Trusova YU.O. Tezaurus i ontologiya predmetnoj oblasti "Analiz izobrazhenij" // Vserossijskaya konf. s mezhdunar. uchastiem "Znaniya – Ontologii – Teorii" (ZONT–09). – Novosibirsk: Institut matematiki im. S.L. Soboleva SO RAN, 2009. – 10 s.
8. Hlava M. M. K. The Taxobook: History, Theories, and Concepts of Knowledge Organization, Part 1 of a 3-Part Series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 3. – С. 1-80.
9. Hlava M. M. K. The taxobook: Principles and practices of building taxonomies, part 2 of a 3-part series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 1-164.
10. Hlava M. M. K. The Taxobook: Applications, Implementation, and Integration in Search: Part 3 of a 3-Part Series // Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 1-156.
11. Bezdushnyj A.N., Zhizhchenko A.B., Kulagin M.V., Serebryakov V.A. Integrirovannaya sistema informacionnyh resursov RAN i tekhnologiya razrabotki cifrovyyh bibliotek. Programmirovaniye, 2000, 4, s. 3-14.

12. Ahlyostin A.YU., Lavrent'ev N.A., Fazliev A.Z. Sistematizaciya nauchnyh graficheskikh resursov po molekulyarnoj spektroskopii // Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XIX Vserossijskoj nauchnoj konferencii (18-23 sentyabrya 2017 g., g. Novorossiysk). — M.: IPM im. M.V.Keldysha, 2017. — S. 34-42. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/39.pdf> doi:10.20948/abrau-2017-39
13. Sotnikov A. N. i dr. Principy postroeniya i formirovaniya elektronnoj biblioteki «Nauchnoe nasledie Rossii» // Programmnye produkty i sistemy. — 2012. — №.4.
14. Elizarov A. M. i dr. Ontologii matematicheskogo znaniya i rekomendatel'naya sistema dlya kollekcij fiziko-matematicheskikh dokumentov // Dokl. RAN. — 2016. — T. 467. — №. 4. — S. 392-395.
15. Mitrofanova O.A., Konstantinova N.S. Ontologii kak sistemy hraneniya znaniy // Vserossijskij konkursnyj otbor obzorno-analiticheskikh statej po prioritetnomu napravleniyu «Informacionnotelekkomunikacionnye sistemy». — 2008. — S. 54
16. Dextre Clarke S. G., Zeng M. L. From ISO 2788 to ISO 25964: The evolution of thesaurus standards towards interoperability and data modelling // Information Standards Quarterly (ISQ). — 2012. — T. 24. — №. 1.
17. Kostin V. V. Obzor semanticheskikh modelej, opisyyvayushchih nauchnye publikacii i nauchno-issledovatel'skuyu deyatel'nost' // Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kollekcii. 2014.
18. Gruber T. Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS). — 2007. — T. 3. — №. 1. — C. 1-11.
19. Muromskij A. A., Tuchkova N. P. O tezauruse dlya predmetnoj oblasti "Obyknovennye differencial'nye uravneniya". — Vychisl. centr im. AA Dorodnicyna RAN, 2004.