

Построение персонального графа знаний в цифровой семантической библиотеке

Ольга Атаева^{1[0000-0003-0367-5575]}, Владимир Серебряков^{2[0000-0003-1423-621X]},
Наталья Тучкова^{3[0000-0001-5357-9640]}

^{1,2,3}Вычислительный центр им. А.А.Дородницына ФИЦ ИУ РАН, ул. Вавилова, 40,
Москва, 119333, Россия

¹oli@gmail.com, ²serebrvas@gmail.com, ³natalia_tuchkova@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается подход к построению персонального графа знаний на основе онтологического описания научной предметной области и ее данных, представленных в виде графа знаний. Изложение опирается на понятия, связанные с информацией и интеллектуальным анализом данных такие, как онтология предметной области, научная предметная область, тезаурус, семантическая цифровая библиотека, персональный граф знаний.

Представлена процедура построения персонального графа знаний на примере предметной области Математика, в основу онтологии которой положен обширный материал математической энциклопедии под редакцией академика И.М. Виноградова в рамках семантической библиотеки Lib-Meta. Предлагаемый подход позволит использовать контент семантической библиотеки Математика для научных исследований, минимизируя процесс поиска информации в локальной предметной области, не теряя более общих результатов, содержащихся за пределами этой области.

Настоящая работа обращается к опыту построения семантических библиотек на базе тезаурусов и онтологического проектирования. Построение онтологий на базе тезауруса предметной области является необходимым условием построения персонального графа знаний научной предметной области

Ключевые слова: Граф знаний, Онтология предметной области, Семантическая цифровая библиотека, Персональный граф знаний

1. Введение

Современные исследования в науке немислимы без оцифрованных данных, публикаций, аудио и видео материалов. Весь этот арсенал помогает быстрее получить информацию, следить за развитием идей научного сообщества и продвигаться вперед в собственных исследованиях. Тем не менее, остается проблема получения и сохранения достоверной информации, что особенно важно в научных исследованиях. Каждому, кто работает в науке, известно такое положение вещей, когда приходится тратить время на поиск ранее использован-

ных источников и даже информации о собственных публикациях. Тем временем, появляются все новые работы, с которыми также надо ознакомиться, дабы не терять актуальности исследований. Поэтому идея организации персонального информационного пространства исследователя неоднократно обсуждалась и начала реализовываться в «доонтологическую» эпоху в виде метафоры рабочего стола, заданного графической системой ОС Windows (<https://www.microsoft.com/>) в 90-х прошлого века. Разложить по папкам документы на цифровом столе – это идея, которая помогает всем пользователям персональных компьютеров, находить документы лучше, чем у себя на реальном столе. Теперь объемов персонального компьютера не хватает, и появились технологии, позволяющие выстроить целые цепочки для поиска необходимого и хранить их в цифровых библиотеках, повышая тем самым скорость и надежность нахождения. Граф знаний [1,2] и его версия в виде персонального графа знаний пользователя представляет такую современную технологию, которая реализовывается в рамках настоящей работы в семантической библиотеке LibMeta [3] на основе онтологического представления научных предметных областей [4, 5, 6, 7].

В этой работе в качестве предметной области рассматривается научная область «Математика». Библиотека LibMeta содержит обширный материал по классической математике, в частности математическому анализу, включая математическую энциклопедию под редакцией академика Ивана Матвеевича Виноградова [8], энциклопедию математической физики [9] под редакцией академика Людвиг Дмитриевича Фаддеева, авторский тезаурус по предметной области обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)[10] и словарь специальных функций [11], классификаторы MSC (<https://msc2020.org>) и УДК (<https://teacode.com/online/udc>). LibMeta наполняется путем доработки тезаурусов и онтологий предметных областей на основе современных публикаций и классических первоисточников.

В основу формального представления данных и их связей (модели данных) предметной области в семантической библиотеке LibMeta положен онтологический подход. На сегодня разработано огромное количество онтологий для предметных областей, которые охватывают разные аспекты деятельности человека. По определению [12, 13, 14] обязательными свойствами описания знаний в виде онтологии являются:

(1) конечный и контролируемый словарь понятий и терминов, исключающий их двусмысленную интерпретацию;

(2) строгая иерархия отношений подклассов понятий и терминов, которые описывают знания предметной области.

Построение онтологии предметной области позволяет выделить *метаданные для проектирования конкретных структур данных* – научных предметных областей и варианты управления этими данными. Для этого необходимо структурировать и связать различные ресурсы, извлечь из них и контекстуализировать (определить в контексте) данные, придавая им свойства знаний. Для определения предметной области строится онтология, в рамках которой могут интегрироваться различные источники данных, использоваться различные таксономии понятий и терминов, верифицированные признанными экспертами научной

области. В основу онтологии библиотеки Математика были положены перечисленные выше справочные материалы.

Изложение в работе опирается на понятия, связанные с информацией и интеллектуальным анализом данных такие, как знание, извлечение знаний, онтология предметной области, научная предметная область, тезаурус, семантическая цифровая библиотека, информационная потребность пользователя, метод онтологического проектирования и, собственно, граф знаний и персональный граф знаний.

Эти понятия встречаются в многочисленных источниках, но для определенности, перечислим их в контексте этого изложения.

2. Определения.

Знание - это структурированные данные, извлеченные из различных источников и представленные в виде, удовлетворяющем информационные потребности пользователя. В частности, рассматриваемые в этой работе словари, энциклопедии и др., [8 - 11] относятся к знаниям (то есть уже структурированным данным).

Извлечение знаний - это процесс преобразования данных, извлеченных из различных источников, и представление их в виде, удовлетворяющем информационные потребности пользователя. [15,16].

Тезаурус (информационно-поисковый) – это словарь предметной области, где термины связаны иерархическими и ассоциативными связями [3,10,17]. Статьи тезауруса могут содержать дополнительные поля такие, как ссылки на первоисточники, формулы, ссылки на публикации и др.. Тезаурус представляет собой одну из форм организации и представления знаний.

Предметная область. В нашем случае может пониматься область некоторой деятельности, например, область исследования. Предметная область не только определяет множество рассматриваемых объектов, но также их свойства, отношения, функциональные связи. В случае цифровой библиотеки LibMeta предметная область определяется тезаурусом онтологии [18].

Граф знаний – это граф, назначение которого состоит в представлении знаний, определяемых сущностями и отношениями между ними, извлеченных из различных источников данных [19, 20]. Свойства вершин графа знаний, дуги (отношения между вершинами) и методы работы с ними определяются приложениями и могут меняться от приложения к приложению. Персональный граф знаний строится на основе контента пользователя персональной семантической библиотеки, отражающего научные интересы этого пользователя [21]. В контент пользователя включаются понятия тезауруса, статьи, коды классификаторов, которые пользователь определили, как «свои» и связанные с ними ресурсы.

Семантическая цифровая библиотека – это цифровая библиотека, элементы контента которой связаны иерархическими и ассоциативными отношениями в соответствии с онтологией предметной области [10].

Онтология цифровой семантической библиотеки.

При разработке семантических библиотек особое внимание уделяют модели данных содержимого библиотеки. При этом контент цифровых библиотек может быть описан различными форматами и представлен различными способами. Библиотека, определяемая с помощью системы LibMeta, рассматривается как хранилище структурированных разнообразных данных с возможностью их интеграции с другими источниками данных и предполагает возможность специфицирования своего контента за счет описания предметной области. В качестве средства формализации выступает онтология контента семантической библиотеки [22, 23, 24].

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

- метаданные как универсальные понятия структуры данных цифровой библиотеки;
- метаданные как часть описания объектов прикладной области или подмножества прикладной области;
- 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. Определение предметной области задается тезаурусом, который содержит основные термины этой предметной области, связанные иерархическими и горизонтальными связями между собой. Содержимое библиотеки задается типами ресурсов, описание которых задает множество допустимых объектов, возможно объединенных в разнообразные коллекции, составляющие вместе с тезаурусом ее контент.

Таким образом, в онтологии цифровой библиотеки можно выделить «системную» часть, так или иначе описывающую структуру самой библиотеки, и «пользовательскую», описывающую структуру данных предметной области, загруженных в библиотеку. Тезаурус является в каком-то смысле верхней частью пользовательской онтологии, полностью и явно видимой пользователю.

Онтология цифровой библиотеки определяет *структуру данных* контента библиотеки. Каждому элементу данных, загруженных в библиотеку, можно сопоставить вершину онтологии, определяющую положение элемента данных в онтологии («тип данных» элемента). На основании связей онтологии и связей, определенных на этапе проектирования, можно построить граф данных, структура которого определяется онтологией: вершины (статьи) – экземпляры элементов онтологии, связи – связи тезауруса. Это *граф знаний* цифровой библиотеки.

На основе тезауруса персональной библиотеки строится и интерфейс пользователя. При построении, отображении и использовании (навигации) графа зна-

ний связи каждого узла графа – это связи, определенные в тезауусе. Они отображаются как ссылки на связанные узлы для текущего узла (рис. 1).

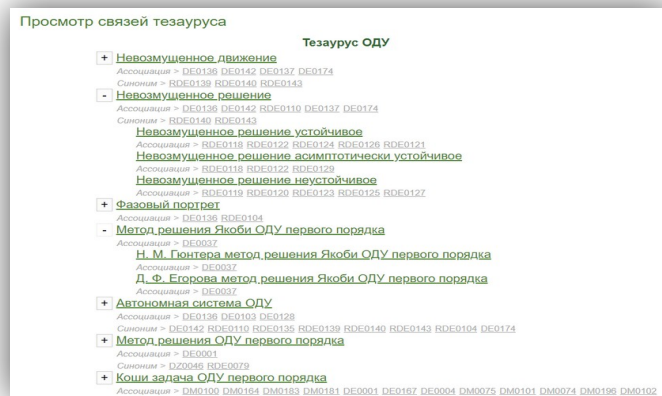
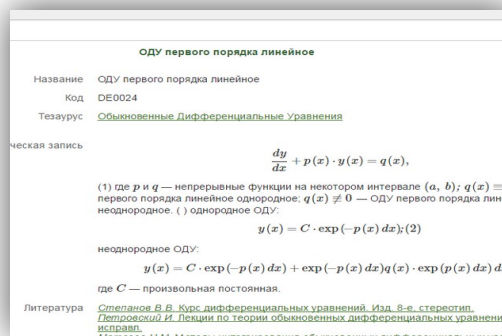


Рисунок 1. Тезаурус ОДУ.



Таким образом, роль онтологии в процессе проектирования и эксплуатации цифровой библиотеки можно резюмировать следующим образом:

- На основе онтологии строится база данных библиотеки;
- На основе онтологии, а именно, объектов и связей, определенных в тезауусе, строится пользовательский интерфейс библиотеки.

Языком определения онтологии цифровой семантической библиотеки Lib-Meta является OWL [25].

3. Граф знаний LibMeta

Онтология цифровой библиотеки определяет *структуру данных* контента библиотеки. Каждому элементу данных, загруженных в библиотеку, можно сопоставить вершину онтологии, определяющую положение элемента данных в онтологии («тип данных» элемента). На основании связей онтологии и связей, определенных на этапе проектирования, можно построить граф данных, структура которого определяется онтологией: вершины (статьи) – экземпляры элементов онтологии, связи – связи тезауруса. Это граф знаний цифровой библиотеки.

В соответствии с онтологией тезауруса имеют место следующие связи между узлами графа знаний:

- ниже,
- выше,
- горизонтальные,
- по общим элементам метаданных,
- связи с контентом библиотеки

Типы основных связей, которые используются при установлении связей с контентом библиотеки это:

- объект — объект,
- понятие — понятие,
- объект — понятие — объект,
- понятие — объект — понятие,
- классификатор — понятие — классификатор,
- понятие — классификатор — понятие,
- объект — классификатор — объект,
- классификатор — объект — классификатор.

В качестве объекта могут выступать разные типы узлов такие, как публикации, авторы, формулы, теоремы и т. д. В качестве элементов классификатора могут использоваться элементы разных классификаторов. В качестве понятий на концах связей могут также выступать понятия разных тезаурусов (частей тезауруса, кустов тезауруса). Все эти связи задействованы при формировании интерфейса пользователя и дают возможность как дополнения и редактирования, так и навигации по графу знаний в системе.

Каждый элемент графа состоит из двух частей – собственно данных (в случае научных приложений, как правило, статьи) и метаданных. К множеству метаданных относятся, в частности:

- индексы рубрикаторов, для предметной области Математика это MSC, УДК, ГРНТИ и т.д.;
- ключевые слова;
- авторы;
- упоминаемые в статье теоремы, формулы, имена, понятия тезауруса.

Пополнение графа знаний

Перед размещением нового объекта в граф происходит его предобработка, которая включает формирование метаданных, а именно сжатие и подготовка текстов к включению в уже подготовленную инфраструктуру графа знаний. Для этого выполняется:

- препроцессинг и очистка этих данных,
- разметка структурных элементов в соответствии с онтологией документа,
- разметка документа по терминам тезауруса,
- выделение связей в документе между терминами предметной области/ключевыми словами,
- сжатие текста:
 - a. извлечение метаданных,
 - b. извлечение основных структурных элементов (аннотация, теорема, формула, ...),
 - c. извлечение списка терминов и ключевых слов,
 - d. извлечение связей,
 - e. извлечение формул (только тех формул, которые относятся к «важным» фрагментам текста) и связанных с ними терминов.

Сжатый текст используется для установления связей с тезаурусом и с имеющимися объектами, уже погруженными в предметную область. Пересечения по метаданным (ключевые слова, классификаторы, понятия тезауруса) между новыми и объектами предметной области позволяют оценить степень соответствия предметной области, степень семантической близости между объектами и выделить новые связи и термины, которые не встречались ранее. Эти связи и термины могут служить основанием для включения их в тезаурус.

4. Персональный граф знаний

Создание персональной информационной среды для научной работы накладывает определенные условия на функциональность семантической библиотеки. Остановимся на особенностях такого информационного ресурса в контексте семантической библиотеки LibMeta.

Фундаментальную роль в создании и функционировании библиотеки играет ее онтология, верхний уровень которой представлен тезаурусом. Тезаурус может создаваться двумя способами: 1) загрузка уже имеющегося тезауруса, и 2) посредством пользовательского интерфейса. В любом случае тезаурус может быть отредактирован пользователем.

Семантическая библиотека LibMeta позиционируется авторами как *персональная*. «Персональность» LibMeta проявляется в том, что пользователь имеет возможность создать свой собственный экземпляр библиотеки с собственным тезаурусом и контентом.

Персональный граф знаний - это граф знаний построенный на основе персональной библиотеки и (персонального) тезауруса этой библиотеки, сформированного в процессе работы пользователя и по запросу пользователя.

Рассмотрим, когда и как возникает необходимость в персональном графе знаний и в чем его отличие от поискового запроса.

Когда возникает необходимость в персональном графе. Персональный граф знаний представляет собой ограниченную выборку данных в зависимости от интересов пользователя. Несмотря на то, что возникает ассоциация с поисковыми запросами и его результатами в классическом понимании, существенная разница в том, что результатом классического поиска являются ресурсы, которые наиболее точно соответствуют поисковому запросу *на уровне совпадения фраз и слов*. В персональном графе знаний, благодаря *семантическим* связям (которые заданы на уровне онтологии библиотеки) между ресурсами, получаем наиболее полный срез данных, связанных тематически на разных уровнях, что позволяет выйти на более широкий охват знаний.

Одно дело найти среди публикаций те, которые посвящены *краевым задачам*, используя запрос «краевые задачи» в поисковой выдаче, другое дело «увидеть» связи с публикациями, в которых рассматриваются приложения и решения таких задач, например, в области теории упругости или связи с публикациями в области композитных материалов. То есть, это разные задачи, в которых во втором случае данные дополняют и обогащают результаты поиска и исследований. Для того, чтобы иметь возможность использовать эти связи и исследовать их в процессе изучения предметной области, возникает необходимость в персональном графе знаний.

Таким образом, при формировании персонального графа знаний пользователь задает признаки (объекты), по которым библиотека должна компоновать информацию по запросу.

Например *при поиске*, такими объектами могут служить разные ресурсы, специфичные для предметной области, например, информация о персонах, публикациях, терминах, задачах, приложениях, решениях и т.д., они составят вершины графа, по которым будет осуществляться навигация. При *пополнении графа*, может быть дополнен объект для поиска, который может стать новым узлом для навигации.

Как создается персональный граф знаний. Изначально при *поисковом запросе* в библиотеке происходит его *обработка и переформулирование* с использованием синонимов [26] и поиск терминов тезауруса в нем. После этого пользователю выдается список найденных результатов и, благодаря связям графа знаний, предлагается определить/уточнить дальнейшее направление поиска. На основе связей предметной области при поисковой строке «краевые задачи» может быть предложен уточняющий запрос «интегральные краевые задачи», но никогда не возникнет уточняющего запроса вида «краевая задача интеграла», хотя слова «интеграл» и «краевая задача» могут определиться как синонимы по определению из [26], как совместно встречающиеся в одном контексте. То есть, на этом этапе (*запроса*) фактически определяются термины предметной

области, которые задают описание персонального графа знаний и связи между ними на основе поискового запроса.

При *пополнении графа* знаний, путем добавления нового узла, добавляются новые термины и понятия, которые включаются в тезаурус предметной области и/или используются уже имеющиеся для установления связей и интеграции нового узла в граф знаний. То есть, так же, как и в предыдущем случае (*поискового запроса*) определяются термины предметной области, которые задают описание персонального графа знаний

Как результат, пользователь в обоих случаях может зафиксировать набор терминов, соответствующий новому узлу или поисковому запросу, объединив их в группу и задав их описание. Или он может изначально описать такое множество понятий и таким образом начать формировать свой персональный граф знаний.

На рисунке 2 схематически изображен небольшой фрагмент персонального графа знаний на основе персонального тезауруса, вершина которого помечена как «Текстовое описание/запрос». Это текстовое описание (как результат поискового запроса пользователя) может быть связано с понятиями тезауруса и публикациями. Как пример можно рассматривать текстовое описание статьи тезауруса ОДУ. Такая статья тезауруса может включать «ключевые слова», «код классификатора», «понятие тезауруса», «определения и ссылки, по которым можно осуществлять навигацию. Явные связи между этими составляющими отмечены сплошными линиями на рисунке 2. При этом понятие может включаться в состав разных публикаций (отмечено как « $P1$ »), а также быть связанным с другими понятиями (отмечено как « $C1$ ») тезаурусными отношениями и иметь множество ключевых слов, (отмечено как « $K1$ »). Такие же связи может иметь «код классификатора» и «ключевые слова». При этом множества $P1$, $P2$, $P3$ могут пересекаться, что означает наличие связи между узлами-предками. Это же справедливо для множеств $K1$, $K2$, $K3$ и $C1$, $C2$, $C3$. Например, между «кодом классификатора» и «понятием» может возникнуть связь, если в множествах $P1$ и $P2$ содержится публикация, которая включает это понятие и помечена некоторым кодом классификатора. Каждый экземпляр множеств P_i , C_i , K_i может являться вершиной поддерева, что позволяет извлекать/устанавливать новые связи между элементами графа в рамках предметной области тезауруса на разных уровнях.

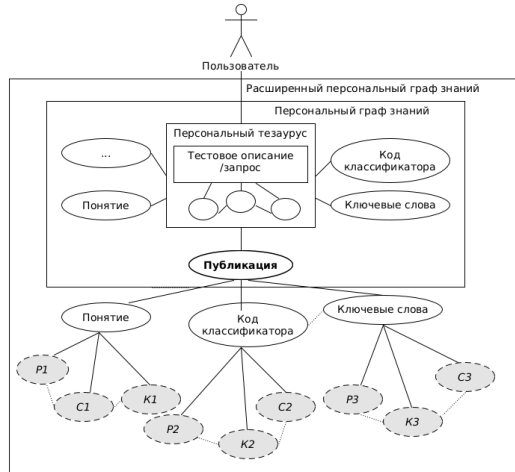


Рис. 2. Персональный граф знаний и его связи.

В качестве примера рассмотрим работу редактора журнала в среде персональной библиотеки, сформированной на основе онтологии LibMeta.

Редактору важно видеть статьи, соответствующие определенной предметной области в массиве публикаций журнала, как они связаны с основными определениями математической энциклопедии и классификаторами. Задача - выяснить есть ли там противоречия, поскольку несоответствие терминов классификаторам предметной области приводит к трудностям для поисковых запросов и индексации в базах данных. На основе связей рисунка 2 все несоответствия легко проявляются, а объяснения «по-существу» при желании можно получить при обращении от «понятия» к энциклопедиям. Редактор видит статьи и анализирует корректность использований кодов классификаторов.

Рис. 3. Пример странички публикации из МКМК с навигацией левом столбце

На рис. 3 приведен скриншот персональной библиотеки на основе контента журнала «Механика композиционных материалов и конструкций» (МКМК). Ключевые слова связаны с множеством публикаций и перемещаясь по ним редактор осуществляет навигацию по «персональному графу знаний редактора МКМК».

5. Заключение и дальнейшие исследования

В работе делается попытка дать ответ на запрос современного научного исследования. А именно, предложить пользователю семантической библиотеки организовать личное информационное научное пространство, используя подход, основанный на онтологическом проектировании персонального графа знаний. Этот подход явился результатом исследований авторов, посвященных представлению научной предметной области в информационной среде. Пилотный вариант персональной семантической библиотеки LibMeta реализован с загруженным контентом журнала «Механика композиционных материалов и конструкций» (МКМК) на основе тезауруса по теории упругости, который доступен по ссылке <https://libmeta.ru/thesaurus/links/471472>.

Дальнейшие исследования направлены на установление более глубоких связей между узлами графа знаний на основе интеллектуально анализа контента и интеграцию этих связей в тезаурус библиотеки и, соответственно, в пользовательский интерфейс.

Работа представлена в рамках выполнения темы Минобрнауки России «Математические методы анализа данных и прогнозирования» ФИЦ ИУ РАН с использованием гибридного высокопроизводительного вычислительного комплекса ФИЦ ИУ РАН для тестирования алгоритмов.

Литература

1. Paulheim, H.: Knowledge Graph Refinement: A Survey of Approaches and Evaluation Methods. *Semantic Web Journal*, (Preprint). 1–20, 8(3), 489–508 (2016) <https://doi.org/10.3233/SW-160218>
2. Ataeva, O., Serebryakov, V., and Tuchkova, N.: Ontological approach to a knowledge graph construction in a semantic library. *Lobachevskii J. of Mathematics* 44(6) (2023) (в печати).
3. Ataeva O., Serebryakov V.A., Sinelnikova E.: Thesaurus and ontology building for semantic library based on mathematical encyclopedia, *DAMDID/RCDL* 148–157 (2019).
4. Атаева О.М., Серебряков В.А. Онтология цифровой семантической библиотеки LibMeta, *Информатика и ее применения* 12(1), 2–10 (2018).
5. Serebryakov V.A., Ataeva O.M.: Ontology based approach to modeling of the subject domain “Mathematics” in the digital library, *Lobachevskii Journal of Mathematics* 42(8), 1920–1934 (2021). DOI: 10.1134/S199508022108028X

6. Allemang D., Hendler J., Gandon F.: *Semantic Web for the Working Ontologist*. ACM Books, 2020. 512 p.
7. Елизаров А.М. и др. Онтологии математического знания и рекомендательная система для коллекций физико-математических документов. Докл. РАН 467(4), 392–395 (2016).
8. Математическая энциклопедия. под ред. И.М.Виноградова. М.: Из-во «Советская энциклопедия». Т.1-5. (1977–1985).
9. Математическая физика. Энциклопедия / Гл. ред. Фаддеев Л.Д. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.
10. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. Тезаурус информационно-поисковый по предметной области: обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: МАКС Пресс, 2005. 116 с
11. Brychkov Yu.A. Handbook of special functions: derivatives, integrals, series and other formulas. CRC Press, 2008 DOI:10.1201/9781584889571
12. 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 6(3), 1–80 (2014).
13. 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, 6(4) , 1–164 (2014).
14. 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 6(4) 1–156 (2014).
15. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
16. Rabunal, J.R., Dorado, J., Sierra, A.P.: Encyclopedia of Artificial Intelligence (IGI Global, 2009). <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-849-9>
17. Dextre Clarke, S.G., Zeng, M.L.: Standard Spotlight: From ISO 2788 to ISO 25964: The Evolution of Thesaurus Standards Towards Interoperability and Data Modeling, Information Standards Quarterly (ISQ) 24(1) 20–26 (2012) <https://doi.org/10.3789/isqv24n1.2012.04>
18. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N.: Development of the semantic space 'Mathematics' by integrating a subspace of its applied area. Lobachevskii Journal of Mathematics 43, (12) 29–40 (2022).
19. Kroetsch, M. and Weikum, G.: Journal of Web Semantics: Special Issue on Knowledge Graphs (2016). <http://www.websemanticsjournal.org/index.php/ps/announcement/view/19>, последний доступ 2023/09/01
20. Blumauer, A.: From Taxonomies over Ontologies to Knowledge Graphs (2014) <https://blog.semanticweb.at/2014/07/15/from-taxonomies-over-ontologiesto-knowledge-graphs>. последний доступ 2023/09/01.
21. Pinker, S.: The sense of style: the thinking person's guide to writing in the 21st century. London: Penguin Books, 2015.
22. Gruber, T. R.: The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases, In: J. A. Allen, R.Fikes, and E. Sandewell, editors, Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'91), 601 – 602 (1991) <https://doi.org/10.5555/3087158.3087222>.
23. Vrandečić, D.: Ontology Evaluation, In Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems, edited by S. Staab, R. Studer, 293–313 (2009) https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_13

24. Semantic Web. <https://www.w3.org/standards/semanticweb>, последний доступ 2023/09/01
25. <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>, последний доступ 2023/09/01
26. Ataeva, O.M., Serebryakov, V.A., Tuchkova, N.P.: On Synonyms Search Model. CEUR Workshop Proceedings, M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen (Aachen, Germany), 3066, pp. 13–22.