



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2017 • Труды конференции



О.М. Атаева, В.А. Серебряков,
Н.П. Тучкова

**Цифровая библиотека по
обыкновенным дифференциальным
уравнениям на основе LibMeta**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. Цифровая библиотека по обыкновенным дифференциальным уравнениям на основе LibMeta // 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. 21-33. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/65.pdf>
doi:[10.20948/abrau-2017-65](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-65)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Цифровая библиотека по обыкновенным дифференциальным уравнениям на основе LibMeta

О.М. Атаева¹, В.А. Серебряков¹, Н.П. Тучкова¹

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального
Исследовательского Центра «Информатика и Управление» Российской
академии наук, ул. Вавилова, 40, Москва, 119333, Россия*

Аннотация: Семантическая открытая цифровая библиотека LibMeta с системой поддержки работы пользователей с цифровыми ресурсами и их коллекциями для некоторой предметной области, ограниченной терминологически с помощью тезауруса, предоставляет функциональность конструирования персонального контента согласно определенным требованиям и требует всего лишь произвести начальную настройку системы под конкретную предметную область. В качестве примера предметной области в работе используется узкоспециализированный тезаурус по обыкновенным дифференциальным уравнениям (ОДУ).

Ключевые слова: семантические библиотеки; модель данных; онтологии; источники данных; поиск в LOD.

1. Введение

Развитие семантических информационных технологий вывело цифровые библиотеки на новый уровень, когда на первый план выходит необходимость более глубокого анализа содержания цифровых библиотек [1]. В решении задач обработки и хранения растущего объема цифровых данных ключевую роль стали играть онтологии [2], которые позволяют представлять концептуальные модели этих библиотек, на базе ранее разработанных форматов, в частности, таких как MARC. Такие онтологии, внесшие семантику в библиотечные форматы, получили название библиографических. Фактически в библиографических онтологиях фиксируются ключевые понятия объектов, составляющих наполнение библиотеки, и связи между ними. Этих понятий достаточно для описания обычной цифровой библиотеки для любой предметной области, в которой представлена информация о различных печатных изданиях и, возможно, их электронные версии. Развитие семантических библиотек [3] способствует расширению модели, определяющей наполнение библиотеки, в которой теперь могут содержаться самые различные типы объектов.

Одновременно с расширением модели библиотечного наполнения возникает необходимость его систематизации в соответствии с предметными областями. Для этого вводятся наборы терминов, используемых для описания конкретных предметных областей. Чаще всего эти термины

организованы в виде некоторой таксономии с поддержкой разнообразных связей между ними. В дальнейшем будем называть наполнение библиотеки с такой терминологической поддержкой некоторой предметной области *контентом* семантической цифровой библиотеки, или просто контентом.

Для тематической классификации ресурсов библиотеки используются различные классификаторы, которые отличаются друг от друга охватом предметных областей и степенью гранулярности при классификации этих областей. Для этих целей может использоваться один из широко распространенных классификаторов, таких как УДК (универсальная десятичная классификация), ББК (библиотечно-библиографическая классификация), ГРНТИ (государственный рубрикатор научно-технической информации). Перечисленные классификаторы охватывают почти все области научного знания и перечень понятий, характерных для этих областей. Как правило эти понятия носят довольно общий характер и не отражают всего разнообразия направлений в каждой отдельной области научного знания.

Специализированные по конкретным областям библиотеки обычно используют свои классификаторы для систематизации своих ресурсов. Этот подход обеспечивает более детальный анализ содержания документов и соотношение смысловых понятий в документе с определенным направлением специализированной области знания. К таким классификаторам можно, например, отнести MSC (Mathematics Subject Classification), который используется для классификации разделов математики.

Семантические библиотеки предоставляют своим пользователям большой арсенал возможностей для удовлетворения их информационных потребностей [4]. Это разнообразные средства поиска: атрибутивный поиск, полнотекстовый поиск, поиск по коллекциям на основе тематических классификаторов, поиск по разнообразным типам ресурсов, включенных в библиотеку. Для пользователей семантических библиотек, являющихся активными потребителями информации, во многих современных решениях предоставляется возможность создать собственную коллекцию.

Возникает необходимость предоставлять пользователям возможность специфицировать свои предпочтения, развивая собственные терминологические словари в рамках некоторого направления научного знания, уточняя и очерчивая круг своих интересов, позволяя организовывать группы пользователей со сходными интересами для возможности отслеживания всей информации по определенным направлениям.

Широкое применение онтологий позволяет интегрировать данные библиотек с данными из различных источников, основываясь на их семантике [5]. Эти источники не обязательно сами являются библиотеками. Множество таких источников подключено к облаку LOD (Linked Open Data) [6]. Основная идея LOD заключается в решении задач интеграции данных, представленных в сети, для чего предлагается представить информацию в формализованном виде с помощью онтологий, что делает ее доступной для

машинной обработки. В этих источниках данных связаны самые различные типы ресурсов, которые представляют интерес для пользователей библиотек с точки зрения обогащения данных как структурно, так и семантически.

На основе модели понятий, описанной в работе [7], а также идей Semantic Web и Linked Open Data, была разработана персональная открытая семантическая цифровая библиотека LibMeta с системой поддержки работы пользователей с цифровыми ресурсами библиотек и их коллекциями для некоторой предметной области, ограниченной терминологически с помощью тезауруса [4, 8].

2. LibMeta – основные идеи

При реализации LibMeta авторы руководствовались набором основных задач, которые должна решать разрабатываемая система:

- 1) библиотека должна поддерживать возможность использования медийных объектов или ссылки на них при описании своих объектов, включая текст, аудио-, видеофайлы или любую их комбинацию. Это требование отражается в названии словом «цифровая»;
- 2) типы используемых ресурсов и связи между ними должны быть описаны средствами системы в рамках понятий, составляющих семантическое описание ресурсов контента библиотеки. При этом согласно принципам LOD при описании ресурсов поддерживается использование классов и свойств ранее используемых онтологий в сообществе, поддерживающем LOD. Эта поддержка выражается либо в непосредственном использовании готовых онтологий при описании ресурсов и связей между ними, либо возможностью ссылок на их элементы, используя связи на уровне описания ресурсов. Это требование отражается в названии словом «семантическая»;
- 3) библиотека должна служить интеграционным узлом, предоставляя возможность связывания своих данных с данными из разных источников, которые включены в облако LOD. Должна также обеспечиваться возможность извлекать данные этой библиотеки в машиночитаемом формате. Это требование отражается в названии словом «открытая»;
- 4) пользователи библиотеки должны иметь возможность организовывать свои коллекции по интересующему их научному направлению, добавляя новые термины в предметный тезаурус, уточняя таким образом область своих интересов. Пользователи должны также иметь возможность осуществлять поиск не только среди объектов в рамках системы, но и по источникам данных без необходимости использования специализированного языка для поисковых запросов. Это требование отражается в названии словом «персональная».

Основные требования, предъявляемые при этом к контенту системы, – универсальность, структурированность, адаптируемость, не противоречат перечисленным свойствам и обеспечивают поддержку настраиваемого хранилища метаданных для объектов и расширяемый набор

информационных ресурсов. Универсальность обеспечивает описание типов ее ресурсов и объектов независимо от предметной области и области интересов пользователей. Структурированность описания обеспечивает поддержку связей между различными типами ресурсов как внутри системы, так и вне ее, исходя из определений LOD. Адаптируемость описания ресурсов обеспечивает возможность добавления новых свойств и связей в процессе развития системы и обеспечивает настройку пользовательских интерфейсов под эти изменения.

Фактически LibMeta предоставляет функциональность конструирования контента библиотеки согласно перечисленным требованиям и на начальном этапе при установке системы требуется всего лишь произвести настройку системы под конкретную предметную область, описав ее ресурсы и таксономии, которые будут очерчивать тематически предметную область ее ресурсов и таким образом составлять ее тезаурус.

При разработке цифровых 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 уточнения контента за счет описания предметной области. В качестве средства формализации выступает онтология контента семантической библиотеки. Также вводятся основные понятия для описания задачи интеграции данных из источников Linked Open Data, понятия для определения произвольного тезауруса. Онтология построена таким образом, чтобы иметь возможность определения семантической библиотеки в произвольной предметной области.

В различных предметных областях модель данных содержимого цифровых семантических библиотек может существенно отличаться как по типам ресурсов, так и их структуре. При разработке таких библиотек особое внимание уделяют модели данных содержимого библиотеки.

Определение предметной области задается тезаурусом [9], который содержит основные термины заданной 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.

3. Использование онтологии контента библиотеки и тезауруса предметной области при конструировании семантической библиотеки в LibMeta

Для возможности применения тезауруса конкретной предметной области и онтологии контента библиотеки необходимо придерживаться следующей последовательности их использования при конструировании семантической библиотеки в рамках LibMeta.

- На основе введенной модели задается набор информационных ресурсов, используемых в библиотеке. Для этого необходимо представить описания содержимого будущей библиотеки в терминах предложенной модели. На базе классов, заданных для описания контента библиотеки, реализован модуль, в котором задаются базовые свойства и атрибуты для ресурсов и задаются связи между ними.
- Осуществляется окончательная настройка структуры тезауруса. На базе определенных классов согласно определению тезауруса реализован модуль для построения тезауруса, в котором задаются используемые связи между терминами, расширяется при необходимости описание термина, определяются связи с ресурсами системы.
- Для выбора семантических меток можно использовать дополнительные словари по предметной области или оставить возможность их определения (доопределения) позднее.
- На основе заданных классов, согласно определению задачи интеграции, реализован модуль, в рамках которого осуществляется подключение внешних источников данных. Это действие можно выполнить на любом этапе функционирования системы.
- На основе заданных классов согласно определению коллекций реализован модуль, в рамках которого осуществляется создание коллекций и их наполнение. Это действие можно выполнить также на любом этапе.

На основе выполненных действий происходит автоматическая адаптация пользовательских интерфейсов системы под заданные описания ресурсов, составляющих содержимое библиотеки. Пользовательский интерфейс делится условно на следующие категории:

- интерфейсы поиска,
- интерфейсы просмотра,
- интерфейсы редактирования,
- интерфейсы загрузки данных.

Для описания какой-либо предметной области всегда используется определенный набор терминов, каждый из которых обозначает или описывает какое-либо понятие или концепцию предметной области. Совокупность терминов, описывающих предметную область, с указанием семантических отношений (связей) между ними является тезаурусом. Такие отношения в тезаурусе всегда указывают на наличие смысловой (семантической) связи между терминами. Если при этом пользователи могут сами добавлять ключевые слова и связи в тезаурус, то это позволит поддерживать актуальность словаря и удобство его использования.

Для возможности ведения разнообразных коллекций объектов используется понятие коллекция информационных объектов, которая определяется на основе тезауруса с указанием коллекционируемых типов ресурсов. Коллекция может объединять информационные объекты различных информационных ресурсов. На основе одного того же тезауруса

можно определять коллекции самых разнообразных типов ресурсов. Такой подход чрезвычайно полезен для создания отдельных пользовательских коллекций.

4. Применение семантической библиотеки LibMeta в предметной области обыкновенных дифференциальных уравнений

Рассмотрим пример, когда в качестве терминов предметной области используется тезаурус по обыкновенным дифференциальным уравнениям (ОДУ) [10]. 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.

Тезаурус «Обыкновенные дифференциальные уравнения» соответствует стандарту ISO, но имеет несколько особенностей, описанных ниже. Понятия в тезаурусе «Обыкновенные дифференциальные уравнения» (в дальнейшем ОДУ) подразделяются на 4 группы:

- ОДУ и системы ОДУ (мнемоническое отображение в тезаурусе: «DE»);
- решение ОДУ и систем ОДУ (мнемоническое отображение в тезаурусе: «RDE»);
- методы решения ОДУ и систем ОДУ (мнемоническое отображение в тезаурусе: «DM»);
- условия задач и свойства ОДУ и систем ОДУ (мнемоническое отображение в тезаурусе: «DZ»).

Множество терминов вместе с множеством отношений реализовано в виде дескрипторов, недескрипторов, парадигматических отношений.

Не всякий объект предметной области, который должен быть включен в тезаурус, имеет общепринятое терминологическое обозначение. Поэтому понятия тезауруса ОДУ могут быть следующих видов:

- математическая запись;
- математическая запись и название на естественном языке;
- название на естественном языке;

Термины предметной области ОДУ могут содержаться в тезаурусе в виде дескрипторов (идентификатор имеет префикс DE, DM, RDE или DZ), недескрипторов (идентификатор имеет префикс NOD), синонимов (идентификатор имеет префикс SYN).

Понятие описывается группой терминов, среди которых выделяется главный, называемый дескриптором. Остальные термины, описывающие понятие, являются синонимами его дескриптора. Недескрипторы описаны отдельно от понятий, но могут быть с ними связаны ассоциативно.

Между понятиями, обозначаемыми в тезаурусе дескрипторами, определены разные отношения: парадигматические отношения – аналог отношения RT из стандарта ISO, отношения род-вид – BTG и NTG соответственно, часть-целое – NTP и BTP из стандарта ISO, соответственно.

На рис. 1 представлены понятия тезауруса, связанные иерархически, и для каждого понятия отображаются его горизонтальные связи.

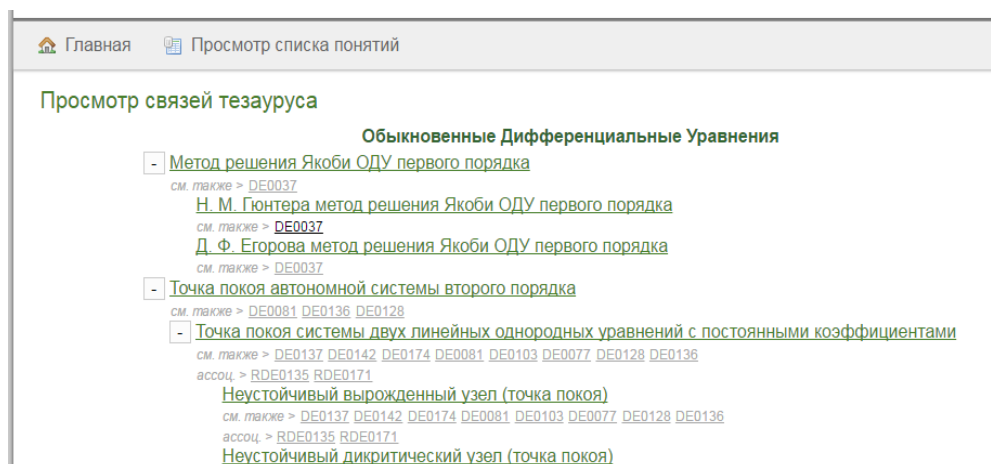


Рис. 1. Тезаурус ОДУ

С помощью этого тезауруса был размечен набор публикаций со схожей тематикой. Схожесть тематики публикации тезаурусу ОДУ определялась по ее ключевым словам, соответствующим терминам тезауруса. На рис. 2 представлен пример связи понятия из ОДУ и найденных публикаций. В качестве связанных объектов могут выступать не только *публикации*, но и, например, *персоны*, в описании деятельности которых могут встречаться соответствующие понятию из ОДУ ключевые слова.

Загрузка тезауруса ОДУ в систему осуществляется после предварительной обработки исходного текста ОДУ в формате TeX и преобразования его в формат пригодный для загрузки в LibMeta в терминах вышеописанной модели тезауруса система.

Фактически понятия *персоны* и *публикации* представляют собой экземпляры класса *информационный ресурс*, определенного как базовая единица контента семантической библиотеки. Так как каждый ресурс обладает набором атрибутов, для каждого из этих экземпляров задается собственный набор из множества атрибутов, описанных в системе. Множество атрибутов состоит из следующих элементов: *название на языке оригинала, название на русском, фамилия, имя, отчество, электронный адрес, дата рождения, аннотация, идентификатор, автор, деятельность, тип публикации, место рождения, биография, описание, дополнительное заглавие, язык*.

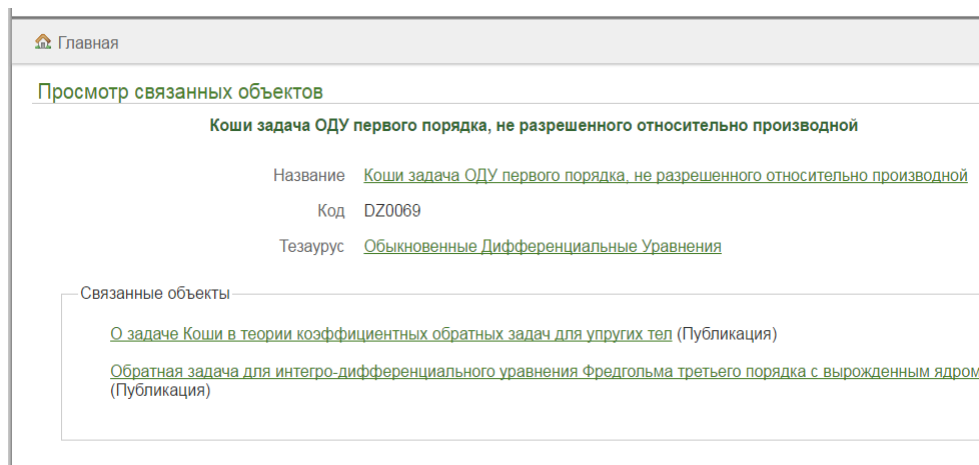


Рис. 2. Информационные объекты и термины ОДУ

Вводится новый тип ресурса *Литература* для тезауруса ОДУ, который фактически представляет собой библиографическое описание источников, по которым формировался тезаурус. Этот тип ресурса вводится явно, для того чтобы выделить эти публикации в отдельное «неприкасаемое» множество объектов, доступное для редактирования только тем пользователям, которые имеют право редактировать термины предметной области определяемыми в тезаурусе. Экземплярами этого ресурса являются *информационные объекты* системы поэтому в набор понятий контента библиотеки и связей между понятиями тезауруса и информационными объектами никаких изменений не вносится. Добавляется лишь право редактирования объектов *Литература* только для администраторов предметной области.

Для описания ресурса *литература* используется тот же набор атрибутов, что и для описания ресурса *публикация*. Это позволило отдельно настроить права доступа для всех объектов *литературы*, запретив их модификацию или удаление пользователям, не являющимся редакторами предметной области. В качестве массива данных был предоставлен набор математических статей из «Владикавказского математического журнала» [11] за 19 лет. К настоящему моменту обработаны только библиографические описания статей, а именно *заглавие, аннотация, ключевые слова, авторы, год издания, номер тома, номер выпуска*. Часть публикаций была размечена ключевыми словами, однако термины не разделены между собой и просто перечислялись через запятую в одном поле. Ключевые слова публикации были преобразованы в набор ключевых слов соответствующего информационного объекта для каждой извлеченной публикации. В коллекцию публикаций тезауруса ОДУ добавлялись те объекты, в наборе ключевых слов которых находились термины ОДУ.

Размещение публикации в коллекции тезауруса может осуществлять как сам пользователь, так и соответствующий модуль автоматической разметки информационных объектов по тезаурусу, в котором задаются простые правила разметки в рамках описания тезауруса.

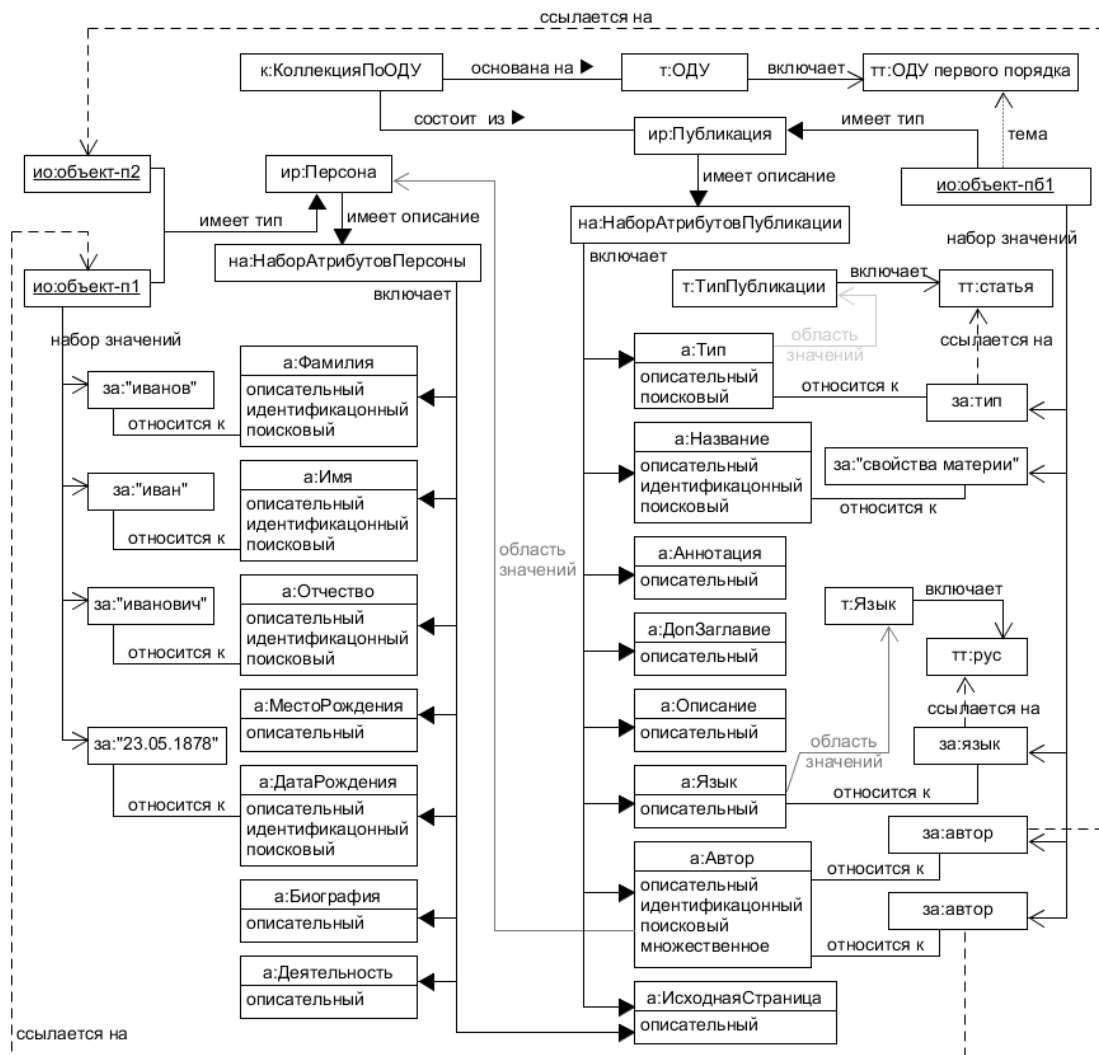


Рис. 3.

Конкретные персоны и объекты, представляющие экземпляры класса *информационный объект*, определяются информационным типом ресурса и представляются значениями свойств атрибутов соответствующего ресурса. Помимо свойств представленных в наборе атрибутов своего типа, каждый объект обладает также свойствами, общими для всех информационных объектов, а именно, *теги, описание, дата создания, дата изменения, владелец, уникальный идентификатор*.

На рисунке 3 представлена схематически структура контента для описанного случая. На схеме проиллюстрированы связи между экземплярами информационных ресурсов *персона* и *публикация* и конкретными экземплярами класса информационного объекта (названия объектов *объект-п1*, *объект-п2*, *объект-пб1* подчеркнуты). Префиксы, отделяемые двоеточием «*ио*», «*ир*», «*к*», «*т*», «*тт*», «*на*», «*а*», указывают на принадлежность экземпляра соответственно к классам *информационный объект*, *информационный ресурс*, *коллекция*, *таксономия/тезаурус*, *таксон/понятие*, *набор атрибутов*, *атрибут*.

Серые стрелки, исходящие из экземпляров атрибутов, указывают на область возможных значений для него. Областью значений остальных атрибутов являются простые типы данных. На схеме значения атрибутов представлены с помощью объектов вспомогательного класса *значение атрибута* с префиксом «за». Объекты этого класса содержат для простых типов атрибутов их значения (например, значения текстовых атрибутов *фамилия*, *имя*, *название* представлены на схеме в кавычках). Для объектного атрибута *автор* его значение содержит ссылку на соответствующий экземпляр информационного объекта с типом *персона*, что отображено на схеме пунктирной стрелкой. Таксономические атрибуты *тип*, *язык* в качестве области значений указывают на соответствующие таксономии *тип публикации* и *язык*, представляющие собой линейные словари, элементы которых (таксоны) используются в качестве значений атрибутов.

Для каждого атрибута указан его вид *описательный*, *идентификационный* или *поисковый*. Атрибут может относиться к нескольким видам одновременно. Поисковые атрибуты используются для динамической генерации формы поиска по объектам определенного типа ресурсов. Описательные атрибуты используются для генерации формы представления информации об объекте для пользователя. Идентификационные атрибуты, базовый набор значений которых необходим, как понятно из названия, для идентификации объекта. В наборе атрибутов для публикаций атрибут *автор* помечен как *множественный*. Этот атрибут может иметь при описании информационных объектов, соответствующих по типу ресурса публикациям, несколько значений, что отражено в качестве примера на схеме.

После загрузки статей в LibMeta по описанной структуре необходимо, основываясь на имеющихся данных и тезаурусе ОДУ, выделить те из них, которые относятся к данной предметной области.

В силу специфики данных нам не удалось найти источник данных в LOD для осуществления демонстрации возможностей LibMeta в области интеграции данных с такими источниками. Поэтому мы промоделировали эту ситуацию и выбрали в качестве гипотетического источника из LOD свой локальный источник данных. Наполнением этого источника является массив данных об авторах из MathNet [12], который накопился у нас в рамках недавней совместной работы. Этот массив хранится в виде RDF – троек [13]. В описание каждой персоны входит *фамилия*, *имя*, *отчество*, *ссылка* на страницу в MathNet, *email*. Данные представлены в терминах FOAF [14].

Расширение модели LibMeta с учетом формул

Для адаптации LibMeta под математическую область знаний с учетом вышеописанных особенностей представления математических формул в представление понятия тезауруса добавляется свойство *formula*, которое содержит формулу на языке LaTeX, как в исходной редакции тезауруса.

В настоящее время поиск по тексту стал массовым явлением. Множество поисковых систем готовы ответить на любой вопрос

пользователя. При этом с поиском математических формул дело обстоит не столь гладко. Текстовый поиск, скорее всего, не даст нужного результата, поскольку формулы в сети Интернет и в различных информационных системах представляются в виде картинок или специализированных форматов – MathML, LaTeX, Open Math [15]. Нужна поисковая подсистема, которая учитывала бы семантику формулы, и давала пользователю возможность самому ввести формулу для поиска.

Для этого в систему была подбавлена подсистема, которая позволяет производить поиск по формулам с учётом их семантики. Для поддержки поиска по формулам в подсистеме было введено понятие *Формула* которое позволяет хранить оригинальную строку формулы из источника откуда она получена. Строка может быть в формате Content MathML, Presentation MathML, LaTeX. При необходимости количество типов представления формулы в различных нотациях легко расширяется. Это понятие *Формулы* связано отношениями с *Информационными объектами* и *понятиями* тезауруса. Таким образом мы всегда можем построить сеть связей формулы с различными информационными объектами системы. Каждая формула может быть дополнена ключевыми словами. Ключевые слова могут проставляться как экспертом системы, так и добавляться автоматически, поступая вместе с формулой из ее источника, а также пополняясь ключевыми словами связанных объектов.

Что касается непосредственно интерфейса поиска, мы воспользовались open-source редактором математических формул VisualMathEditor, автор – David Grima [16]. Этот редактор позволяет пользователю набирать формулу, не зная тонкостей работы с LaTeX или MathML. В интерфейс добавлена кнопка поиска и поле для ввода ключевых слов.

Поиск по формулам состоит из двух логических частей – поиск собственно по формуле и поиск по ключевым словам. Искать по ключевым словам необходимо для того, чтобы сузить круг кандидатов. Поиск по формуле должен выдавать формулы, которые полностью идентичны введённой для поиска формуле, либо содержат часть, идентичную введённой формуле. Используемый алгоритм поиска, можно условно разделить на три фазы:

1. Выбор формул - кандидатов. При необходимости преобразование формул в MathML. На этом этапе мы получаем список формул из тезауруса, которые соответствуют критериям поиска по ключевым словам.

2. Генерация внутреннего представления для формул. Для каждой формулы мы строим внутреннее представление или же используем заранее построенное внутреннее представление.

3. Сравнение искомой формулы с формулами кандидатами на полное или частичное совпадение (часть формулы-кандидата эквивалентна искомой формуле).

4. Формирование и вывод результатов поиска.

Выбор формул–кандидатов по ключевым словам происходит следующим образом: пользователь вводит ключевые слова, разделённые

пробелом. В случае хотя бы одного совпадения любого ключевого слова формула попадает в список формул, подлежащих сравнению с искомой формулой.

После того, как запрос вернёт формулы-кандидаты, необходимо убедиться, что все они имеют представление в формате MathML. Если они не имеют такого представления, необходимо конвертировать формулы из LaTeX в MathML (формулы, которые не имеют ни LaTeX, ни MathML записи, не входят в результаты поиска). Для этого используется библиотека MathToWeb [17]. Для ускорения процесса конвертация выполняется в несколько потоков. После конвертации необходимо сохранить результаты в соответствующее поле с тем, чтобы во время следующего поиска использовать результаты конвертации.

Заключение

Разработана и внедрена система поддержки поиска по математическим формулам в LibMeta. Также добавлен функционал обработки текстовых фрагментов с целью выделения формул из него и ее ключевых слов. Реализована возможность связывания различных типов объектов и понятий тезауруса с конкретной формулой.

Были обработаны около 600 описаний математических публикаций, выявлено около 300 связей с понятиями ОДУ. Всего в связях участвовало около 50 публикаций. Из этого массива выделено около 600 формул. Поиск связей между понятиями ОДУ и описаниями публикаций по формулам не дал значимых результатов, но мы надеемся получить больше информации после подготовки и обработки полных текстов этих публикаций.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 16-07-00765а 17-07-00214а, 17-07-00217а.

Литература

1. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды. В сб. трудов II Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2012) с.143-158, Минск, Беларусь, 2012.
2. Gruber T. R. 1993. A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2):199-220.
3. Semantic Digital Libraries (Eds: Sebastian Ryszard Kruk, Bill McDaniel). 2009. Springer-Verlag:Berlin-Heidelberg. 245 p. 13.
4. Ataeva O.M., and Serebryakov V. A. Osnovnye ponyatiya dlya postroeniya formal'noy modeli semanticheskikh bibliotek i opisaniya protsessov integratsii v ney [The basic concepts for building a formal model of semantic libraries and description of the integration processes in it]. Programmnye produkty i sistemy [Software and Systems]. 2015. 4: 193–200.

5. Antopol'skij A.B., Kalenkova A.A., Kalenov N.E., Serebryakov V.A. and Sotnikov A.V. Printsipy razrabotki integrirovannoy sistemy dlya nauchnykh bibliotek, arkhivov i muzeev [Principles for the development of an integrated system for research libraries, archives and museums]. Informatsionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]. 2012. 1: 2-7
6. Bizer C., Heath T. and Berners-Lee T. Linked data – the story so far. Int. J. Semantic Web Inf. Syst., 2009. 5(3):1–2
7. Ataeva O.M., and Serebryakov V.A. Osnovnye ponyatiya dlya postroeniya formal'noy modeli semanticheskikh bibliotek i opisaniya protsessov integratsii v ney [The basic concepts for building a formal model of semantic libraries and description of the integration processes in it]. Programmnye produkty i sistemy [Software and Systems]. 2015. 4: 193–200.
8. Serebryakov V.A., and Ataeva O. M. Personal'naya tsifrovaya biblioteka Libmeta kak sreda integratsii svyazannykh otkrytykh dannykh [Personal Digital Library Libmeta as an integration environment of linked data]. Proceedings of RCDL, 2014..
9. Нгуен М.Х., Аджиев А.С. Описание и использование тезаурусов в информационных системах, подходы и реализация // Электронные библиотеки. 2004. Т. 7. № 1. С. 16-45.
10. Moiseev E.I., Muromskij A.A., and Tuchkova N.P. Tezaurus informatsionno – poiskovyy po predmetnoy oblasti «obyknovennye differentsial'nye uravneniya» [Information search thesaurus of subject area "Ordinary Differential Equations"]. М.: MAKS Press, 2005. 116р.
11. Владикавказский математический журнал. <http://www.vmj.ru>.
12. <http://www.mathnet.ru>.
13. <https://www.w3.org/RDF/>
14. <http://xmlns.com/foaf/spec/>
15. OpenMath and MathML: Semantic Mark Up for Mathematics. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.acm.org/crossroads/xrds6-2/openmath.html>
16. <http://visualmatheditor.equatheque.net/>
17. Math To Web – User's Guide. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – URL: http://www.mathtoweb.com/cgi-bin/mathtoweb_users_guide.pl