

# Подходы к организации математических знаний при формировании предметных тезаурусов различных разделов математики

О.М. Атаева<sup>1</sup>, В.А. Серебряков<sup>1</sup>, Н.П.Тучкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 40*

**Аннотация:** В данной работе рассматриваются предметные области, связанные с наукой, и их особенности. Сделана попытка выделения общих для них концепций. Одна из особенностей научных областей знаний заключается в том, что описываемые структуры данных подвержены частым изменениям. В работе обсуждается обобщенная модель научной предметной области, ее своеобразие, а также реализации в поисковых системах, отмечаются их отличия от классических подходов к поиску информации в научных массивах данных. Совокупность введенных понятий в этой работе задает обобщенную онтологию научной предметной области. Эта онтология вместе с данными определяют пространство научного знания рассматриваемой области. При переходе на предметный уровень концептуализации возникает необходимость ограничения ее в рамках конкретной области науки. Для этого вводится набор понятий, используемых для описания этой предметной области. Соответствующие термины предметной области связывают с этими понятиями. Чаще всего эти термины организованы в виде некоторого тезауруса. Программной реализацией построенной модели описания научных предметных областей является система LibMeta. Основная задача этой системы создание такой информационной системы для научных библиотек, которая могла бы учитывать все разнообразие различных типов ресурсов, которые могут в ней храниться и при этом поддерживать терминологическое описание практически любой предметной области. В качестве предметной области для демонстрации работы с научной информацией рассматривается область обыкновенных дифференциальных уравнений.

**Ключевые слова:** предметная область, научная предметная область, научная информация, научные знания, обобщенное представление научной предметной области, таксономии, тезаурусы, глобальные онтологии, адаптивная модель, поисковые системы, организация научных знаний, цифровые библиотеки.

# Approaches to the organization of mathematical knowledge in the construction of subject thesauri of various branches of mathematics

O.M. Ataeva<sup>1</sup>, V.A. Serebryakov<sup>1</sup>, N.P. Tuchkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS,  
Moscow, ул. Vavilov st. 40*

**Abstract:** The subject areas related to science and their features are considered in this paper. An attempt has been made to single out common concepts for them. One of the features of the scientific fields of knowledge is that the described data structures are subject to frequent changes. The paper discusses the generalized model of the scientific domain, its originality, as well as its implementation in the search systems, notes their differences from the classical approaches to information retrieval in scientific data sets. The set of introduced concepts defines the generalized ontology of the scientific subject domain in this work. This ontology together with the data determines the space of scientific knowledge of the considering domain. When moving to the objective level of conceptualization, it becomes necessary to limit it within the specific field of science. A set of concepts used to describe this subject area at this level. Most often these terms are organized in the form of a thesaurus. The corresponding terms of the subject area are associated with concepts of domain. System LibMeta is a program implementation of the constructed model. The main task of this system is the creation of such an information system for scientific libraries that could take into account the diversity of different types of resources that can be stored in it and at the same time support the terminological description of any subject area. The domain of ordinary differential equations is chosen to demonstrate work with scientific information in this system.

**Keywords:** subject area, scientific subject area, scientific information, scientific knowledge, thesauruses, adaptive model, organization of scientific knowledge, digital libraries.

## 1. Введение

С появлением парадигмы Semantic Web [1] для формализации знаний в различных предметных областях стали активно использоваться онтологии [2]. Как правило, эти знания представлены терминами и атрибутами, отражающими онтологические связи между ними [3]. При формализации знаний появляется возможность проводить семантическую обработку информации. Используются также правила вывода, позволяющие делать заключения об имеющихся или вновь поступивших данных. Данные и онтология с правилами вывода вместе представляют собой базу знаний (knowledge base) [4] некоторой предметной

области. Это фактически краткое описание классического подхода к определению базы знаний для любой предметной области. При этом данные предметной области имеют определенную структуру, зафиксированную в онтологии.

В фокусе предлагаемой работы будут предметные области, связанные с наукой и их особенности. Будет сделана попытка выделения общих концепций для их формальных описаний в базе знаний. Особенность этих областей заключается в том, что структура данных подвержена частым изменениям. Будем говорить об обобщенной модели научной предметной области и ее особенностях, реализациях в поисковых системах и отличий от классических подходов к поиску информации в научных массивах данных.

Актуальность такой работы связана с тем, что последние десятилетия объем информации лавинообразно увеличивается и это касается и научных областей. Продолжаются попытки построить формальные модели предметных областей, например математических [5]. Увеличивается количество источников разнообразных данных и форматов, в которых они представлены. Резко возросло время, необходимое для поиска нужной информации и ее обзора. Главной задачей создания описания обобщенного представления научных знаний для некоторой области является помощь экспертам в организации знаний и предоставления доступа к ней. При этом средство организации знаний должно быть достаточно универсальным и не требовать глубоких технических познаний.

## **2. Обобщенная модель научной предметной области**

Построение обобщенной модели научной предметной области представляет подход, который делает упор на выделении таких метаданных, которые позволяют проектировать конкретные структуры данных для различных научных предметных областей и выявить общие подходы к управлению этими данными и их обработке. Это позволит построить общую модель *пространства научных знаний*, в рамках которой могут интегрироваться различные предметные области. С использованием этой модели возможна реализация семантических систем, способных гибко настраиваться под запросы конкретной предметной области. Одной из целей обобщенного подхода является упрощение доступа и восприятия больших и сложно структурированных объемов информации пользователем. Этот подход не является оптимальным для всех задач, решаемых в рамках некоторой научной предметной области, но, по крайней мере, позволяет структурировать имеющиеся знания на формальном уровне для дальнейшего использования.

## **3. Научная информация**

Критерии научности информации строго не определены и на этот счет существуют различные точки зрения. Научная информация, по ГОСТ 7.0-99 [6]: логически организованная информация, получаемая в процессе научного

познания и отображающая явления и законы природы, общества и мышления. Опираясь на это определение, можно выделить несколько основных свойств, которыми в совокупности обладает научная информация: истинность, интерсубъективность и системность [7, 8].

Мы не будем претендовать на то, что знания о предметной области, описанные в соответствии с нашими предложениями, являются всеобъемлющими. Оценивать - задача экспертов, наша же задача - предоставить удобный инструмент для анализа имеющейся информации.

Критерий интерсубъективности говорит о том, что у всех исследователей, изучавших одну и ту же предметную область в одних и тех же условиях, получится один и тот же результат. Мы хотим предложить такую модель организации информации о предметной области, которая является общезначимой для всех исследователей.

Системность научной информации подразумевает опору на исследование разнообразных зависимостей. Спецификой такой информации является четкая структура организации научных данных в иерархические структуры, пронизанные горизонтальными связями. Как следствие, соответствие этим основным критериям обеспечивает достаточно однозначную интерпретацию научного знания различными исследователями.

Основная проблема представления научной информации состоит в сложности используемых понятий и отношений между ними, и, что самое главное, они подвержены более частому изменению структур данных, что неизбежно приводит к необходимости внесения существенных доработок в уже имеющиеся решения.

Говоря о научной информации, имеет смысл разделять понятия научных *данных* и научных *ресурсов* в рамках научных предметных областей.

#### **4. Научные ресурсы**

В то же время, особенностью электронных и других источников научных данных является то, что, несмотря на сильное различие в назначении, они предоставляют похожие ресурсы для любой предметной области науки. То есть, информационные ресурсы в разных предметных областях представляются часто одними и теми же объектами: научные публикации, ученые, работающие в этой отрасли, научные организации, проекты, гранты, опыты, образцы, экспериментальные установки и другие. При этом непосредственно научные данные могут извлекаться из этих ресурсов.

#### **5. Научные данные**

Одновременно с построением обобщенной модели возникает необходимость ограничения ее в рамках конкретной предметной области науки. Для этого вводится набор понятий, используемых для описания этой предметной области. Соответствующие термины предметной области связывают с этими понятиями. Чаще всего эти термины организованы в виде

некоторой таксономии с поддержкой связей между ними. Структура этой таксономии может варьироваться по сложности в зависимости от моделируемой области и представлять собой при необходимости полноценный тезаурус со всем богатством связей. В дальнейшем будем говорить о тезаурусах как о средстве организации понятий (знаний). Представленные в таком виде термины могут употребляться для обработки имеющихся ресурсов. При этом между понятиями и ресурсами возникают связи. Под научными данными предметной области будем понимать совокупность понятий научной предметной области и выявленных связей между ними и ресурсами.

Отдельно стоит упомянуть о том, что тезаурус предметной области может быть как результатом работы экспертной группы, так и построен автоматизированными средствами. Вопросы составления тезаурусов предметной области выходят за рамки этой работы, как и обсуждение методов выявления связей.

## **6. Научные знания**

Совокупность научных ресурсов, их экземпляров, терминов тезауруса, всех явных и неявных связей между ними образуют общую картину научных знаний предметной области.

Самый простой набор правил выявления неявных связей определен в самом стандарте онтологического представления информации [9]. Помимо них можно использовать возможность явно определять правила, согласно которым должны получаться логические выводы. Синтаксис правил довольно прост и состоит из двух частей: первая часть определяет условие, при выполнении которого во второй части определяется вывод.

Онтологическое описание фактически является формальной основой для представления научных знаний и учета свойств интерсубъективности [10].

## **7. Адаптивный подход**

Формирование модели с перечисленными свойствами фактически подводит нас к построению онтологии, близкой, по сути, к высокоуровневым онтологиям [11] для предметных областей науки. Такие онтологии описывают наиболее общие понятия, независимые от конкретной проблемы или области.

В этом смысле как нельзя лучше подходит адаптивная модель данных [12, 13] для описания научных ресурсов, которая позволяет не ограничиваться при разработке строго очерченным набором ресурсов. Такая модель данных подходит для определенного круга задач, решение которых реализуется на базе построения довольно сложных частных моделях. Применение адаптивной модели позволяет понизить сложность (размерность) как самой модели данных, так и разрабатываемых на их основе систем. Получаемые модели более абстрактны, состоят из меньшего количества понятий с более простыми связями и не привязаны к определенным предметным областям. Использование этой модели данных делает возможной динамическую трансформацию и

интерпретацию модели данных в приложении, позволяя настраивать решения под определенную предметную область. Фактически появляется возможность воспроизвести и поддерживать в процессе развития описание различных структур и процессов, используемых в рассматриваемой предметной области. Такой подход позволяет значительно улучшить качество обработки и поиска поступающих ресурсов и данных в рамках ограниченной предметной области не только за счет использования ее тезауруса, но и за счет гибкости описания представления имеющихся ресурсов.

## **8. Поиск научной информации**

Использование глобальных систем поиска в узких предметных областях науки не дает возможности удовлетворить специфические информационные запросы специалиста. Даже использование термина в качестве ключевого слова запроса не приводит к значительному росту качества найденной информации. В глобальной поисковой системе невозможно учесть все связи термина или как-то по-другому очертить рамки специфической предметной области. Необходимо опираться на контекст, который задается тезаурусом. Не говоря уже о том, чтобы использовать особую форму записи (формулы в математике или химии, например) для конкретизации термина.

Одним из несомненных преимуществ использования научной поисковой системы, построенной для некоторой предметной области науки, является ее качество поиска. В такого рода системах не встречается или встречается ничтожно мало случайных мусорных ресурсов и их источников. Это в свою очередь влияет на качество извлекаемой информации (достоверность, полнота, избыточность, надежность информационных источников), и сроки доставки ее до потребителя.

Ответ на вопрос «Что такое качество данных?» в каждом конкретном случае определяется текущими требованиями и позволяет оценить эффективность проведенных работ. При этом «качество данных» - это многомерное понятие, состоящее из многих характеристик, каждая из которых определяет, удовлетворяют ли данные тому или иному условию. Для поиска информации качество определяется степенью удовлетворения информационной потребности пользователя (пертинентность).

## **9. Использование результатов поиска научной информации**

Помимо задачи непосредственного поиска научной информации, существуют не менее важные задачи обслуживания пользователей такой информации. Основными из них являются следующие:

- оповещение отдельных пользователей – специалистов о новых ресурсах, представляющих для них потенциальный интерес. Область интересов формулируется самостоятельно пользователем по набору ключевых для пользователя понятий предметного тезауруса. При этом предварительно необходимо проводить обработку

поступающих ресурсов и анализ их содержимого для извлечения научных данных;

- ретроспективный поиск, т.е. отыскание ресурсов предметной области, в которых находятся данные по конкретным темам/разделам/запросам. Результат представляется в виде реферативных обзоров соответствующих ресурсов или отдельных разделов рассматриваемой области.

На основе вышесказанного можно сделать вывод, что работы по созданию и обработке поисковых систем научных ресурсов и данных является отдельной задачей, конечно же имеющей пересечения с задачами поисковых систем, но в силу специфики научной информации, ее использования и применения имеет с ними существенные различия. Удобство, которое получит пользователь научной информации, составляет несомненное условие востребованности поисковой системы и продолжительности ее "жизненного цикла" [14].

## **10. Разработка общей терминологии**

Очевидно, что при разработке общей идеологии нужно иметь в виду, что на глобальном уровне концептуализации должны присутствовать понятия, используя которые, можно описать структуру знаний знания любой научной предметной области. Выше мы разделили научные данные и научные ресурсы. В свою очередь для полноты необходимо ввести связи между данными и ресурсами. Перечислим основные понятия, необходимые для описания научных знаний:

- *Ресурс*. Определяет источник научной информации и задает описание информационных ресурсов. Из-за разнообразия возможных ресурсов на глобальном уровне нельзя использовать фиксированный перечень ресурсов, так как их набор и степень детализации могут меняться от условий задачи.
- *Объект*. Представляет экземпляр ресурса конкретное описание объекта.
- *Понятие*. Определяет единицу научной информации и описывает научные данные. Множество таких понятий составляет набор сведений о предметной области.
- *Связь понятиями*. Описывает связь между двумя понятиями.
- *Тезаурус*. Множество терминов и связей между ними.
- *Связь между понятиями и объектами*. Описывает взаимосвязь между Понятием и Объектом и наоборот. При этом понятие не обязательно должно быть связано с объектом. Но каждый объект, являющийся экземпляром научного ресурса, относящегося к предметной области, должен быть связан с каким либо понятием. Совокупность этих связей и представляет научные знания.
- *Правило*. Определяется на основе связей между объектами и понятиями. Позволяет вывести знания, не определенные явно с помощью понятий, на глобальном уровне концептуализации.

Совокупность этих понятий задает обобщенную онтологию научной предметной области и вместе с данными составляют пространство научного знания рассматриваемой области.

С помощью этих понятий возможен переход на следующий уровень концептуализации – предметный. На предметном уровне для некоторой области происходит описание существенных для этой области понятий для научных ресурсов, данных и правил вывода новых знаний.

## **11. Пример реализации**

Программной реализацией построенной модели описания научных предметных областей является система LibMeta [15]. Основная задача LibMeta - создание такой информационной системы для научных библиотек, которая могла бы учитывать все разнообразие различных типов ресурсов, которые могут в ней храниться и при этом поддерживать терминологическое описание практически любой предметной области. Одна из основных решаемых задач в контексте системы – это обеспечение возможности интегрирования данных из различных источников. Фактически такая система представляет собой конструктор для создания цифровой научной библиотеки любой направленности и с произвольной моделью контента хранимых данных.

### **11.1. Предметная область «Обыкновенные дифференциальные уравнения»**

В качестве предметной области для демонстрации работы LibMeta с научной информацией рассмотрим область обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Контент библиотеки определяется всего двумя типами научных ресурсов: Персона и Публикация. В качестве массива научных ресурсов был предоставлен набор математических статей из «Владикавказского математического журнала» [16] за 19 лет.

Для ограничения библиотеки в рамках конкретной предметной области науки был взят тезаурус «Обыкновенные дифференциальные уравнения», соответствующего стандарту ISO [17]. В нем вводится набор понятий, используемых для описания этой предметной области. Соответствующие термины предметной области связывают с этими понятиями. Эти понятия организованы в виде таксономии с поддержкой связей между ними. Понятия в тезаурусе «Обыкновенные дифференциальные уравнения» (в дальнейшем ОДУ) подразделяются на 4 группы:

- ОДУ и системы ОДУ;
- решение ОДУ и систем ОДУ;
- методы решения ОДУ и систем ОДУ;
- условия задач и свойства ОДУ и систем ОДУ.

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, недескрипторов, синонимов.

Понятие описывается группой терминов, среди которых выделяется главный, называемый дескриптором. Остальные термины, описывающие понятие, являются синонимами его дескриптора. Недескрипторы существуют отдельно от понятий и имеют с ними лишь косвенную связь.

Между понятиями, обозначаемыми в тезаурусе дескрипторами, имеют место разные отношения: парадигматические (ассоциативные) отношения, отношения род – вид, часть – целое.

После загрузки статей в LibMeta необходимо, основываясь на тезаурусе ОДУ, выделить те из них, которые относятся к данной предметной области. Для этого средствами Libmeta были выделены связи между научными ресурсами, представленными публикациями, и терминами из тезауруса ОДУ.

Предложенная технология может быть распространена на другие разделы математики или другие научные предметные области.

## 11.2. Формулы

Основное отличие предметной области математики, в частности ОДУ, от других научных предметных областей состоит в наличии формул. Причем формулы могут отличаться разнообразием записи, по сути представляя одну и ту же формулу.

И если в настоящее время поиск по тексту стал массовым явлением, с поиском математических формул дело обстоит не столь гладко. Текстовый поиск, скорее всего, не даст нужного результата, поскольку формулы представляются в виде картинок или специализированных форматов – MathML, LaTeX, Open Math [18, 19, 20, 21].

Для поддержки формул было введено отдельное понятие *Формула*, которое позволяет хранить оригинальную строку формулы из источника, из которого она получена. Строка может быть в формате Content MathML, Presentation MathML, LaTeX. При необходимости количество типов представления формулы в различных нотациях должно легко расширяться. Это понятие *Формула* тесно связано отношениями с научными ресурсами и понятиями тезауруса рассматриваемой предметной области. Таким образом, получаем возможность построить сеть связей формулы с различными ресурсами и понятиями, обогащая таким образом полученные научные знания в рассматриваемой области. Связи позволяют использовать контекст формулы и области ее использования.

## 12. Выводы

В этой статье мы рассмотрели определение научной информации и выделили основные критерии и идеи для создания инструментария для ее описания и обработки. В качестве такого инструментария предлагается использовать информационную систему Libmeta, удовлетворяющую выдвинутым определениям.

Работая в качестве пилотного примера с областью обыкновенных дифференциальных уравнений, мы очертили круг понятий, необходимых для описания любой предметной области математики в общем виде, выделив в виде отдельного ресурса понятие формулы. Несомненно, эта область требует более детального описания, учитывая специфику научных ресурсов математики, но эта задача выходит за рамки статьи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 17-07-00214-а.

## Литература

1. Semantic Web URL:<http://www.w3.org/standards/semanticweb/> (дата обращения: 02.08.2018).
2. Sowa J.F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Course Technology, Бостон, США, 2000, 594 p.
3. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 173 с.
4. ISO 25964-1:2011 Preview Information and documentation - Thesauri and interoperability with other vocabularies - Part 1: Thesauri for information retrieval. URL:<https://www.iso.org/standard/53657.html> (дата обращения: 02.08.2018).
5. Caretteand J., Farmer W. Formalizing Mathematical Knowledgeas a Biform Theory Graph: A Case Study in In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (eds) Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science, V. 10383. Springer, Cham, Proceedings. p. 9-24.
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) URL:<http://docs.cntd.ru/document/gost-7-0-99> (дата обращения: 02.08.2018).
7. Губанов Н.И., Губанов Н.Н., Волков А.Э. Критерии истинности и научности знания // Философия и общество, 2016, N. 3 (80), pp. 78-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-istinnosti-i-nauchnosti-znaniya> (дата обращения: 02.08.2018).

8. Ильин В.В., Калинин А.Т. Природа науки: Гносеологический анализ. М.: Высшая школа, 1985. 230 с.
9. Semantic Web URL:<http://www.w3.org/standards/semanticweb> / (дата обращения: 02.08.2018).
10. Kumazawa T., Saito O., Kozaki K. et al.. Toward knowledge structuring of sustainability science based on ontology engineering. Sustainability Science. 4: 99-116. doi:10.1007/s11625-008-0063-z. (Retrieved 22 April 2015).
11. Mascardi V., Cordi V., Rosso P. A comparison of upper ontologies, 2007. Conference: WOA 2007: Dagli Oggetti agli Agenti. 8th AI\*IA/TABOO Joint Workshop "From Objects to Agents": Agents and Industry: Technological Applications of Software Agents, 24-25 September 2007, Genova, Italy.
12. Welick L., Yode J.W., Wirfs-Broc R. Adaptive Object-Model Builder – AdaptiveObjectModel.com, 2009 URL: <http://joeyoder.com/PDFs/04welicki.pdf> (дата обращения: 02.08.2018)
13. Yoder J.W., Balaguer F., Johnson R. Architecture and Design of Adaptive Object-Model – AdaptiveObjectModel.com, 2000, URL: <http://www.adaptiveobjectmodel.com/OOPSLA2001/AOMIntriguingTechPaper.pdf> (дата обращения: 02.08.2018).
14. Mooers C. Information retrieval viewed as temporal signaling // Proceedings of the International Congress of Mathematicians. 1950. Vol. 1. P.572–573.
15. URL:<http://www.vmj.ru/> (дата обращения: 02.08.2018).
16. Серебряков В.А., Атаева О.М. Информационная модель открытой персональной семантической библиотеки LibMeta // Труды XVIII Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети интернет". Новороссийск, 19 по 24 сентября 2016 г. ИПМ им. М.В. Келдыша. С. 304-313.
17. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. Тезаурус информационно-поисковый по предметной области «обыкновенные дифференциальные уравнения». М.: МАКС Пресс, 2005. 116 с.
18. MathML Specification. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. – URL: <https://www.w3.org/TR/MathML3/> (дата обращения: 02.08.2018).
19. Lamport L. LaTeX: A Document Preparation System (2nd Edition). Addison-Wesley Professional, 1994, 222 p.
20. Елизаров А.М., Липачев Е.К., Малахальцев М.А. Основы MathML. Представление математических текстов в Internet. Практическое руководство. Издательство Казанского математического общества, 2008, 102 с.
21. W3C MathML 2.0 Specification. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. – URL: <http://www.w3.org/Math> (дата обращения: 02.08.2018).

## References

1. Semantic Web URL:<http://www.w3.org/standards/semanticweb/> (application date: 02.08.2018).
2. Sowa J.F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Course Technology, Бостон, США, 2000, 594 p.
3. Dobrov B.V., Ivanov V.V., Lukashevich N.V., Solovev V.D. Ontologii i tezaury: modeli, instrumenty, prilozheniia. M.: Binom. Laboratoriia znani, 2009. 173 p.
4. ISO 25964-1:2011 Preview Information and documentation - Thesauri and interoperability with other vocabularies - Part 1: Thesauri for information retrieval. URL:<https://www.iso.org/standard/53657.html> (application date: 02.08.2018).
5. Caretteand J., Farmer W. Formalizing Mathematical Knowledgeas a Biform Theory Graph: A Case Study in In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (eds) Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science, V. 10383. Springer, Cham, Proceedings. p. 9-24.
6. GOST 7.0-99 Mezghosudarstvennyi standart GOST 7.0-99 "Sistema standartov po informatsii, bibliotechnomu i izdatelskomu delu. Informatsionno-bibliotechnaia deiatelnost, bibliografiia. Terminy i opredeleniia" (vveden v deistvie postanovleniem Gosstandarta RF ot 7 oktiabria 1999. N 334-p) URL:<http://docs.cntd.ru/document/gost-7-0-99> (application date: 02.08.2018).
7. Gubanov N.I., Gubanov N.N., Volkov A.E. Kriterii istinnosti i nauchnosti znaniia // Filosofiiia i obshchestvo, 2016, N. 3 (80), pp. 78-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-istinnosti-i-nauchnosti-znaniya> (application date: 02.08.2018).
8. Ilin V.V., Kalinkin A.T. Priroda nauki: Gnoseologicheskii analiz. M.: Vysshaia shkola, 1985. 230 p.
9. Semantic Web URL:<http://www.w3.org/standards/semanticweb/> (application date: 02.08.2018).
10. Kumazawa T., Saito O., Kozaki K. et al. Toward knowledge structuring of sustainability science based on ontology engineering. Sustainability Science. 4: 99-116. doi:10.1007/s11625-008-0063-z. (Retrieved 22 April 2015).
11. Mascardi V., Cordi V., Rosso P. A comparison of upper ontologies, 2007. Conference: WOA 2007: Dagli Oggetti agli Agenti. 8th AI\*IA/TABOO Joint Workshop "From Objects to Agents": Agents and Industry: Technological Applications of Software Agents, 24-25 September 2007, Genova, Italy.
12. Welick L., Yode J.W., Wirfs-Broc R. Adaptive Object-Model Builder – AdaptiveObjectModel.com, 2009 URL: <http://joeyoder.com/PDFs/04welicki.pdf> (application date: 02.08.2018)
13. Yoder J.W., Balaguer F., Johnson R. Architecture and Design of Adaptive Object-Model – AdaptiveObjectModel.com, 2000,

- URL:<http://www.adaptiveobjectmodel.com/OOPSLA2001/AOMIntriguingTechPaper.pdf> (application date: 02.08.2018).
14. Mooers C. Information retrieval viewed as temporal signaling // Proceedings of the International Congress of Mathematicians. 1950. Vol. 1. P.572–573.
  15. URL:<http://www.vmj.ru/> (application date: 02.08.2018). Serebriakov V.A., Ataeva O.M. Informatsionnaia model otkrytoi personalnoi semanticheskoi biblioteki LibMeta // Trudy XVIII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii "Nauchnyi servis v seti internet". Novorossiisk, 19 po 24 sentiabria 2016 g. IPM im. M.V. Keldysha. P. 304-313.
  16. Moiseev E.I., Muromskii A.A., Tuchkova N.P. Tezaurus informatsionno-poiskovyi po predmetnoi oblasti «obyknovennye differentsialnye uravneniia». M.: MAKS Press, 116 p.
  17. MathML Specification. [Digital resource]. URL: <https://www.w3.org/TR/MathML3/> (application date: 02.08.2018).
  18. Lampion L. LaTeX: A Document Preparation System (2nd Edition). Addison-Wesley Professional, 1994, 222 p.
  19. Elizarov A.M., Lipachev E.K., Malakhaltsev M.A. Osnovy MathML. Predstavlenie matematicheskikh tekstov v Internet. Prakticheskoe rukovodstvo. Izdatelstvo Kazanskogo matematicheskogo obshchestva, 2008, 102 c.
  20. W3C MathML 2.0 Specification. [Digital resource]. URL: <http://www.w3.org/Math> (application date: 02.08.2018).