

Применение паттернов онтологического проектирования при разработке онтологий научных предметных областей

© Ю.А. Загорулько^{1,2}

© О.И. Боровикова¹

© Г.Б. Загорулько^{1,2}

¹ Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН,

² Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

zagor@iis.nsk.su

olesya@iis.nsk.su

gal@iis.nsk.su

Аннотация. Обсуждены вопросы применения паттернов онтологического проектирования при разработке онтологий научных предметных областей. Такие паттерны предназначены для описания решений типовых проблем, возникающих при разработке онтологий. Они создаются для того, чтобы облегчить процесс построения онтологий и помочь разработчикам избежать некоторых, часто повторяющихся ошибок моделирования. Представлены паттерны онтологического проектирования, сложившиеся в результате решения проблем, с которыми авторы столкнулись при разработке онтологий для таких научных предметных областей, как археология, компьютерная лингвистика, системные исследования в энергетике, активная сейсмология и др.

Ключевые слова: научная предметная область, онтология, паттерны онтологического проектирования, методология разработки онтологий.

Application of Ontology Design Patterns in the Development of the Ontologies of Scientific Subject Domains

© Yu.A. Zagorulko^{1,2}

© O.I. Borovikova¹

© G.B. Zagorulko^{1,2}

¹ A.P. Ershov Institute of Informatics Systems,

² Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russia

zagor@iis.nsk.su

olesya@iis.nsk.su

gal@iis.nsk.su

Abstract. The paper discusses the application of ontology design patterns for the development of ontologies of scientific subject domains. Such patterns are designed to describe the solutions of typical problems arising in ontology development. They are created to facilitate the process of building ontologies and to help the developers avoid some frequent errors occurring in ontology modeling. The paper presents the ontology design patterns resulting from solving the problems that the authors have encountered in the development of ontologies for such scientific subject domains as archaeology, computational linguistics, system studies in power engineering, active seismology, etc.

Keywords: scientific subject domain, ontology, ontology design patterns, methodology of ontology development.

1 Введение

В настоящее время наиболее популярным и эффективным средством концептуализации и формализации научных предметных областей являются онтологии [12]. Они повсеместно используются для представления и фиксации общего разделяемого всеми экспертами (или группой экспертов) знания о таких областях. Формализация

семантики предметной области в виде онтологии служит не только целям компактного и непротиворечивого ее описания, она также формирует понятийный базис для представления всей совокупности знаний о ней. Например, в системе информационной поддержки научной деятельности (СПНД) [19] в терминах онтологии может быть описана семантика используемых в ней данных и информационных ресурсов, а в экспертной системе или системе поддержки принятия решений – экспертные правила, прецеденты и другие компоненты базы знаний [27].

СПНД должна обеспечивать пользователю

представление всей необходимой ему информации об интересующей его области знаний, о ее составляющих (разделы/подразделы науки, объекты, методы и техники исследования и т. п.), а также о субсектах (участниках) научной деятельности (персоналиях, группах, сообществах и других организациях, включенных в процесс исследования). В СПНД онтология задает формальное описание области знаний, на основе которого систематизируется такая информация, выполняется интеграция в единое информационное пространство релевантных информационных ресурсов и документов. На основе онтологии также строится пользовательский интерфейс, обеспечивающий содержательный доступ к знаниям и данным, интегрированным в информационное пространство системы. В частности, в таком интерфейсе пользователь может использовать онтологию в качестве «проводника» для навигации по этому пространству, а также формулировать поисковые запросы, основными элементами которых являются понятия и отношения онтологии.

В настоящее время онтологии широко используются для концептуального моделирования предметных областей с интенсивным использованием данных [31]. Развитие и применение инфраструктур поддержки научных исследований, базирующихся на концептуальных спецификациях таких областей, позволяют избежать зависимости программ от структуры источников данных, обеспечить интероперабельность различных методов обработки данных при совместной работе, повысить надёжность получаемых результатов за счёт использования формальных непротиворечивых спецификаций.

Разработка онтологий научных предметных областей является довольно сложным и трудоемким процессом. Для его упрощения и облегчения предложены различные методы и подходы к разработке онтологий. На протяжении последних десяти лет интенсивно развивается подход, базирующийся на применении паттернов онтологического проектирования (Ontology Design Patterns или ODP) [6, 14].

ODP представляют собой документально зафиксированные описания проверенных на практике решений проблем онтологического моделирования. В настоящее время создано и развивается несколько каталогов паттернов [13, 29]. Следует заметить, что такие каталоги, как правило, ориентированы либо на какую-то предметную область, либо группу разработчиков, поэтому не обладают полнотой и универсальностью.

В статье обсуждаются паттерны онтологического проектирования, сложившиеся в результате решения проблем, с которыми авторы столкнулись в процессе разработки онтологий для различных научных предметных областей [20, 21, 23–25, 32]. Описание проблем и паттернов дано в контексте методологии разработки онтологий для тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов [26], предназначенных для информационной и

аналитической поддержки научной деятельности в заданных областях знаний.

2 Обзор паттернов онтологического проектирования

Паттерны онтологического проектирования имеют в качестве своих прародителей паттерны проектирования, широко используемые в разработке программного обеспечения. В этой области деятельности под паттерном проектирования (design pattern) понимается описание хорошо проверенной, обобщенной схемы решения некоторой часто повторяющейся проблемы разработки, которая возникает в некотором контексте. Паттерны вошли в повседневную практику объектно-ориентированного проектирования. С их помощью решаются конкретные задачи проектирования, в результате чего объектно-ориентированный дизайн становится более гибким, элегантным, и повторно используемым [22].

По аналогии с паттернами проектирования, паттерны онтологического проектирования предназначены для описания решений типовых проблем, возникающих при разработке онтологий. Паттерны создаются для того, чтобы облегчить процесс построения онтологий и помочь разработчикам избежать некоторых часто повторяющихся ошибок онтологического моделирования [8]. В таком качестве ODP были впервые независимо друг от друга введены Aldo Gangemi [6] и Eva Blomqvist с Kurt Sandkuhl [4].

Основной каталог паттернов онтологического проектирования представлен на портале Ассоциации ODPА (Association for Ontology Design & Patterns) [29], созданного в рамках проекта NeOn [30]. В рамках этого проекта была предложена представленная ниже типология паттернов [15].

В зависимости от проблем, для решения которых предназначены паттерны онтологического проектирования, различают структурные паттерны (Structural ODPs), паттерны соответствия (Correspondence ODPs), паттерны содержания (Content ODPs), паттерны логического вывода (Reasoning ODPs), паттерны представления (Presentation ODPs) и лексико-синтаксические паттерны (Lexico-Syntactic ODPs) [7].

Структурные паттерны либо фиксируют способы решения проблем, вызванных ограничениями выразительных возможностей языков описания онтологий, либо задают общую структуру и вид онтологии. Паттерны первого типа называются логическими паттернами (Logical ODP). К ним относится, например, паттерн многоместного отношения, решающий проблему отсутствия во многих языках описания онтологий отношений такого вида. Паттерны второго типа – архитектурные паттерны (Architectural ODP) – содержат предложения по организации онтологии в целом, включая, например, такие структуры, как таксономия и модульная архитектура.

Заметим, что структурные паттерны являются

предметно-независимыми, на их основе могут строиться фрагменты онтологии, входящие в паттерны содержания.

Паттерны логического вывода строятся на основе структурных логических паттернов и предназначены для получения определенных результатов с помощью машины логического вывода. Такие паттерны обеспечивают не только вывод неявно заданных в онтологии знаний (паттерны классификации, категоризации, наследования и др.), но и проверку онтологии на непротиворечивость и полноту, выполнение запросов к онтологии, ее оценку и нормализацию (устранение анонимности классов и экземпляров, явное представление (reification) иерархии классов, нормализацию имен и т. п.) [18].

Паттерны содержания задают способы представления типовых фрагментов онтологий, на основе которых могут строиться онтологии целого класса предметных областей.

Паттерны представления определяют рекомендации по именованию, аннотированию и графическому представлению элементов онтологии, применение которых должно повысить понимаемость онтологии, а также удобство и простоту ее использования.

Паттерны соответствия требуются для выполнения реинжиниринга (трансформации) и выравнивания (отображения) онтологий. Первая группа паттернов применяется, когда необходимо построить новую онтологию (при этом исходная модель не обязательно является онтологической). Вторая группа используется для установления соответствий между понятиями и индивидами двух онтологий, чтобы обеспечить интероперабельность без изменения существующих моделей.

Лексико-синтаксические паттерны применяются для облегчения построения (пополнения) онтологий на основе текстов на естественном языке. Они задают отображения языковых структур в онтологические структуры.

Следует заметить, что на данный момент не существует единого стандарта для описания паттернов [11], но чаще всего они описываются в формате, предложенном на портале ассоциации ODPA [29]. Схема описания паттерна включает его графическое представление, текстовое описание, набор сценариев, примеров и ссылки на другие паттерны, в которых он используется, а также общую информацию о названии паттерна, его авторе и области применения. Согласно методологии eXtreme Design [3] каждый паттерн содержания снабжается также набором квалификационных вопросов, определяющих его содержание.

3 Паттерны методологии построения онтологий для тематических ИНИР

В этом разделе рассмотрены структурные и содержательные паттерны, которые применяются в методологии построения онтологий для тематических интеллектуальных научных интернет-

ресурсов (ИНИР) [26], в разработке которой принимали участие авторы статьи. Данная методология использует средства технологии Semantic Web [9]. В частности, онтологии в рамках этой методологии разрабатываются на языке OWL [1] с использованием редактора Protégé. Эти средства помогают решить многие проблемы онтологического инжиниринга, включая проверку корректности и повторное использование онтологий, но их применение, в свою очередь, создает новые проблемы.

3.1 Структурные паттерны

Необходимость в использовании структурных логических паттернов в методологии построения онтологий для тематических ИНИР была вызвана проблемой отсутствия в языке OWL выразительных средств для представления сложных сущностей и конструкций, актуальных при построении онтологий тематических ИНИР, в частности, областей допустимых значений, многоместных и атрибутированных отношений (бинарных отношений с атрибутами).

Первым рассмотрим паттерн представления области допустимых значений свойств (см. Рис. 1), введение которого было вызвано проблемой отсутствия в языке OWL специальных средств для задания таких областей, которые в реляционной модели данных называются доменами и характеризуются названием и множеством элементарных значений. Домены удобно использовать при описании возможных значений свойств (атрибутов) класса, когда весь набор таких значений известен заранее. Использование доменов не только позволит контролировать ввод информации, но и может повысить удобство этой операции, за счет обеспечения пользователям возможности выбора значений свойств из заданного списка значений.

Решением указанной проблемы является задание домена перечислимым классом, который является наследником специально введенного служебного класса *Домен*. Конкретный домен не имеет наследников и состоит из конечного набора различных индивидов (объектов или экземпляров класса), определяющих возможные значения заданного свойства (*ObjectProperty*) для объектов рассматриваемого класса (см. Рис. 1).

Примерами таких доменов являются “Географический тип”, “Должность”, “Тип организации”, “Тип публикации”, которые включают соответственно виды населенных пунктов, виды должностей, типы организаций и публикаций (описание домена “Географический тип” представлено в нижней части Рис. 1).

Заметим, что на приведенных в статье рисунках паттернов классы обозначаются в виде эллипсов, а их индивиды и атрибуты – в виде прямоугольников. Связь типа *ObjectProperty* показывается сплошной прямой линией, а связь типа *DataProperty* – прерывистой. При этом обязательные классы и атрибуты (индивиды) представляются фигурами, обведенными жирной линией.

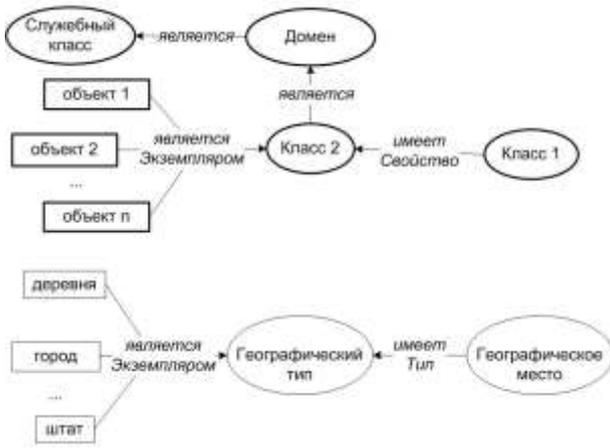


Рисунок 1 Структурный паттерн представления области допустимых значений и пример его использования

Другой часто возникающей проблемой при разработке онтологии является потребность в представлении атрибутированных отношений между объектами. Для этих целей, как правило, используются обычные бинарные отношения, снабженные атрибутами, специализирующими связь между аргументами отношения [5]. Так как в языке OWL нет возможности задания атрибутов для отношений, был предложен структурный паттерн, предусматривающий введение служебного класса *Отношение с атрибутами* (см. Рис. 2).

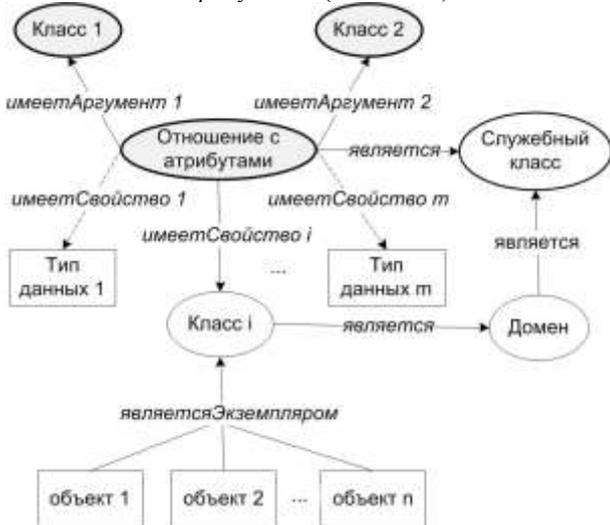


Рисунок 2 Структурный паттерн бинарного атрибутированного отношения

Для представления конкретного типа отношения вводится новый класс – его наследник. Экземпляр этого класса связывается с каждым аргументом и атрибутом атрибутированного отношения. При этом нужно учитывать необходимость задания ограничений обязательности и единственности для аргументов, в то время как ограничения на число атрибутов (свойств) не задаются.

Заметим, что данный паттерн, в отличие от введенного в [5] паттерна *Qualified Relation*, позволяет явно указать порядок аргументов

атрибутированного отношения, сохраняя информацию об его ориентированности, что важно для представления пользователю полной информации о характере связи между объектами.

На Рис. 3 представлен пример использования данного паттерна для задания отношения, описывающего участие персоны (класс *Персона*) в некоторой деятельности (класс *Деятельность*). Паттерн позволяет задать даты начала и окончания участия персоны в некоторой деятельности, а также его роль в ней.



Рисунок 3 Паттерн бинарного атрибутированного отношения *участвует*

Подобным образом можно построить паттерн для многоместного отношения, для классов-аргументов которого, кроме свойства обязательности и единственности, указывается также порядок аргументов (см. Рис. 4).

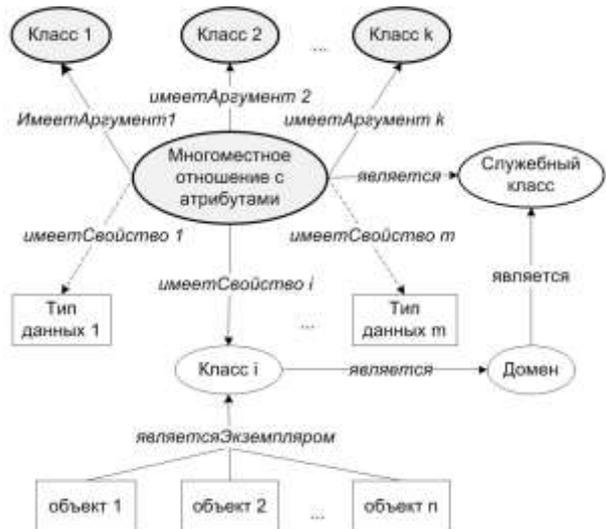


Рисунок 4 Структурный паттерн многоместного отношения с атрибутами

Заметим, что в отличие от структурного паттерна многоместного отношения (*N-Ary Relation Pattern*),

представленного в [10], и содержательного паттерна “Ситуация” (*Situation*), представленного в [17], на основе которого предлагается описывать многоместные отношения, в паттерне, предложенном в данной работе, помимо аргументов отношения и их порядка также можно задавать его свойства (*ObjectProperty*) и атрибуты (*DataProperty*). Это в значительной степени повышает изобразительные возможности данного паттерна.

Структурные паттерны являются предметно-независимыми, на их основе могут задаваться элементы онтологии для паттернов содержания.

3.2 Паттерны содержания

Как было сказано выше, паттерны содержания задают способы представления типовых фрагментов онтологий, на основе которых могут строиться онтологии моделируемых предметных областей. Фактически предлагаемые паттерны содержания являются фрагментами базовых онтологий, предоставляемых упомянутой выше методологией построения онтологий для тематических ИНИР, которые после конкретизации (специализации) содержащихся в них понятий и расширения новыми понятиями становятся составными частями онтологий конкретных предметных областей.

Онтология предметной области ИНИР строится на основе следующих базовых онтологий: онтология научного знания и научной деятельности, базовой онтологии задач и методов, а также базовой онтологии научных информационных ресурсов [26].

Онтология научного знания содержит классы, задающие структуры для описания понятий, входящих в любую научную область знаний. Такими понятиями являются *Раздел науки*, *Объект исследования*, *Предмет исследования*, *Метод исследования*, *Научный результат* и др. Эта онтология также включает отношения, связывающие между собой объекты указанных выше классов. Используя эти классы, можно выделить и описать разделы и подразделы, значимые для моделируемой области знаний, задать типизацию методов и объектов исследования, описать результаты научной деятельности.

Онтология научной деятельности базируется на онтологии, предложенной в [2] для описания научно-исследовательских проектов и расширенной для применения к более широкому классу задач. Эта онтология включает классы понятий, относящиеся к организации научной и исследовательской деятельности, такие, как *Персона (Исследователь)*, *Организация*, *Событие*, *Деятельность*, *Проект*, *Публикация* и др. В эту онтологию входят также отношения, позволяющие связывать понятия данной онтологии не только между собой, но и с понятиями онтологии научного знания.

Базовая онтология научных информационных ресурсов в качестве основного класса включает класс *Информационный ресурс*, так как данное понятие играет важную роль во всех научных областях. Набор атрибутов и связей этого класса основан на стандарте Dublin core [16]. Его атрибутами являются: название

ресурса, язык ресурса, тематика ресурса, тип ресурса, дата создания ресурса и др. Для представления информации об источниках ресурса и его создателях, а также связанных с ним событиях, организациях, персонах, публикациях и других существующих вводятся специальные отношения, связывающие класс *Информационный ресурс* с классами других базовых онтологий.

Базовая онтология задач и методов включает такие классы, как *Задача*, *Метод решения* и *Web-сервис*. С помощью понятий и отношений данной онтологии могут быть описаны задачи, для решения которых предназначен ИНИР, методы их решения и реализующие их веб-сервисы.

Для описания научных предметных областей требуется уметь единообразно представлять используемые в них понятия и их свойства. Для этого были разработаны паттерны для представления основных понятий и отношений базовых онтологий. Покажем, как выглядят паттерны онтологии научного знания.

Паттерн, представленный на Рис. 5, предназначен для описания методов исследования, используемых в научной деятельности.



Рисунок 5 Паттерн для описания метода исследования

Элементы описания паттерна метода исследования представлены такими обязательными классами онтологии, как *Деятельность*, *Научный Результат*, *Задача*, и соответствующими отношениями *используетсяВ*, *реализуетсяВ*, *решиает*.

Приведем набор квалификационных вопросов, представляющих содержание этого паттерна:

- Каково название метода исследования?
- В какой деятельности используется метод?
- Какие задачи решаются с помощью метода?
- В каких разделах науки используется метод?
- В каких научных результатах метод реализован?
- Когда метод впервые появился?
- Кто является автором метода?
- Какие персоны применяют метод?
- Какие персоны развивают метод?
- В каких организациях применяется метод?

В каких публикациях метод описывается?
 На каких ресурсах представлен метод?

На Рис. 6 представлен пример использования описанного выше паттерна для описания метода недоопределенных вычислений [28], предложенного А.С. Нариньяни в 1986 г. и реализованного в решателе UniCalc.



Рисунок 6 Пример использования паттерна метода исследования

На Рис. 7 приведен паттерн для описания объекта исследования, который включает в качестве обязательных следующие классы: *Предмет Исследования*, *Деятельность*, *Раздел науки*. Экземпляры этих классов должны быть связаны с объектом исследования отношениями *имеетАспект*, *исследуетсяВ* и *изучаетсяВ* соответственно. При этом объект исследования может быть структурным (включать в себя другие объекты исследования).

Паттерн предмета исследования (см. Рис. 8) обязательно должен включать ссылку на объект исследования, аспектом которого он является. Предмет исследования, как и объект исследования, может быть структурным (включать в себя другие предметы исследования).



Рисунок 7 Паттерн для описания объекта исследования



Рисунок 8 Паттерн для описания предмета исследования

В описании научной деятельности важное место занимают научные результаты. Паттерн, предназначенный для описания научного результата, приведен на Рис. 9. В этом паттерне отражено требование, состоящее в том, что при описании научного результата необходимо давать ссылку на деятельность, при выполнении которой он был получен.

Заметим, что в представленных выше паттернах используются не только «центральные» понятия паттернов, но и понятия из смежных паттернов (например, в паттерне описания предмета исследования, кроме понятия *Предмет Исследования*, используются такие понятия, как *Объект исследования*, *Научный результат*, *Раздел науки* и др.) Это позволяет давать связанное описание моделируемой области.



Рисунок 9 Паттерн для описания научного результата

3 Заключение

Рассмотрены вопросы применения паттернов онтологического проектирования для разработки

онтологий научных предметных областей. Была описана предложенная Ассоциацией ODPА классификация паттернов и подробно рассмотрены авторские паттерны, которые использовались при разработке онтологий для ряда научных предметных областей.

На основе паттернов обеспечивается согласованное представление всех сущностей онтологии. Использование экспертами и инженерами знаний паттернов онтологического проектирования позволяет сэкономить ресурсы и избежать ошибок при разработке онтологий.

Поддержка

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00569) и Президиума РАН (проект П.2П/IV.39-1 «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы»).

Литература

- [1] Antoniou, G., Harmelen, F.: *Web Ontology Language: OWL. Handbook on Ontologies*, pp. 67-92. Berlin: Springer Verlag (2004)
- [2] Benjamins, V. R., Fensel, D.: *Community is Knowledge!* in (KA)2. Proc. of 11th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems workshop KAW'98 (Banff, Canada, April 1998), pp. KM.2-1 – KM.2-18. Calgary: SRDG Publications, Department of Computer Science, University of Calgary (1998)
- [3] Blomqvist, E., Hammar, K., Presutti, V.: *Engineering Ontologies with Patterns: The eXtreme Design Methodology*. In: Hitzler, P., Gangemi, A., Janowicz, K., Krisnadhi, A., Presutti, V. (eds) *Ontology Engineering with Ontology Design Patterns, Studies on the Semantic Web*, 25, pp. 23-50. IOS Press (2016)
- [4] Blomqvist, E., Sandkuhl, K.: *Patterns in Ontology Engineering: Classification of Ontology Patterns*. Proc. of the Seventh Int. Conf. on Enterprise Information Systems ICEIS 2005, Miami, USA, pp. 413-416 (2005)
- [5] Dodds L., Davis I.: *Linked Data Patterns: A Pattern Catalogue for Modelling, Publishing, and Consuming Linked Data*. <http://patterns.dataincubator.org/book>
- [6] Gangemi, A.: *Ontology Design Patterns for Semantic Web Content*. In: Gil, Y., Motta, E., Benjamins, V.R., Musen, M.A. (eds). *The Semantic Web – ISWC 2005*. LNCS, 3729, pp. 262-276. Springer: Berlin, Heidelberg (2005)
- [7] Gangem, A., Presutti, V.: *Ontology Design Patterns. Handbook on Ontologies*, pp. 221-243. Springer (2009)
- [8] Hammar, K.: *Towards an Ontology Design Pattern Quality Model*. Linköping Studies in Science and Technology Linköping University, 1606 (2013)
- [9] Hitzler, P., Krötzsch, V., Rudolph, S.: *Foundations of Semantic Web Technologies*. Chapman & Hall/CRC (2009)
- [10] Hoekstra, R.: *Ontology Representation – Design Patterns and Ontologies that Make Sense*. *Frontiers of Artificial Intelligence and Applications*, 197, pp. 1-236. IOS Press, Amsterdam (2009)
- [11] Karima, N., Hammar, K., Hitzler, P.: *How to Document Ontology Design Patterns*. Proc. of the 7th Workshop on Ontology and Semantic Web Patterns (WOP 2016), Kobe, Japan. IOS Press (2016)
- [12] *Ontologies: A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems*. Sharman, R., Kishore, R., Ramesh, R. (eds). Springer New York, Secaucus, NJ, USA (2006)
- [13] *Ontology Design Patterns (ODPs) Public Catalog*. <http://odps.sourceforge.net>
- [14] *Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications*. Studies on the Semantic Web. Hitzler, P., Gangemi, A., Janowicz, K., Krisnadhi, A., Presutti, V. (eds), IOS Press/AKA (2016)
- [15] Presutti, V., Gangemi, A., David, S., Aguado de Cea, G., Su'arez-Figueroa, M.C., Montiel-Ponsoda, E., Poveda, M. D2.5.1: *A Library of Ontology Design Patterns: Reusable Solutions for Collaborative Design of Networked Ontologies*. Technical report, NeOn Project (2007)
- [16] Rühle, S., Baker, T., Johnston, P. *User Guide*. http://wiki.dublincore.org/index.php/User_Guide
- [17] *Submissions:Situation*. <http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Submissions:Situation>
- [18] Vrandečić, D., Sure, Y.: *How to Design Better Ontology Metrics*. Proc. of the Semantic Web: Research and Applications: 4th European Semantic Web Conference, ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 3–7, 2007. LNCS, 4519, pp. 311-325. Springer (2007)
- [19] Zagorulko, Yu., Zagorulko, G.: *A Role of Ontology in Information Systems for Support of Scientific and Production Activity*. *New Trends in Software Methodologies, Tools, and Techniques*. Proc. of the eighth SoMeT_09. Fujita, H., Marik, V. (eds), pp. 413-427. IOS Press, Amsterdam (2009)
- [20] Боровикова, О.И.: *Разработка онтологии для археологического портала знаний*. Тр. X Межд. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (Самара, 23–25 июня 2008 г.) Под ред.: Федосова, Е.А., Кузнецова, Н.А., Виттиха, В.А., сс. 464-470. Самара: Самарский Научный Центр РАН (2008)
- [21] Брагинская, Л.П., Григорюк, А.П., Загорулько, Г.Б., Ковалевский, В.В.: *Систематизация научных знаний по активной сейсмологии на основе онтологий*. Материалы IV Межд. конф. «Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле. ITES-

- 2016» (Южно-Сахалинск, 7–11 августа 2016). Труды конференции, сс. 70-71 (2016)
- [22] Гамма, Э., Хелм, Р., Джонсон, Р., Влссидес, Дж.: Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: «Питер» (2001)
- [23] Загоруйко, Г.Б.: Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях. Онтология проектирования, 6 (4), сс. 485-500 (2016)
- [24] Загоруйко, Г.Б., Молородов, Ю.И., Федотов, А.М.: Систематизация знаний по теплофизическим свойствам веществ. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 12 (3), сс. 48-56 (2014)
- [25] Загоруйко, Ю.А., Боровикова, О.И., Загоруйко, Г.Б.: Организация содержательного доступа к гуманитарным информационным ресурсам на основе онтологий. Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. Тр. 9-й Всерос. науч. конф. RCDL'2007, 1, сс. 217-224. Переславль-Залесский: Изд-во «Университет города Переславля» (2007)
- [26] Загоруйко, Ю.А., Загоруйко, Г.Б., Боровикова, О.И.: Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии. Программная инженерия, (2), сс. 51-60 (2016)
- [27] Загоруйко, Ю.А., Загоруйко, Г.Б.: Использование онтологий в экспертных системах и системах поддержки принятия решений. Труды Второго симпозиума «Онтологическое моделирование» (Казань, 11–12 октября 2010 г.), сс. 321-354. М.: ИПИ РАН (2011)
- [28] Нариньяни, А.С.: Недоопределенность в системах представления и обработки знаний. Известия АН СССР. Техническая кибернетика, (5), сс. 3-28 (1986)
- [29] Портал Ассоциации ODPA (Association for Ontology Design & Patterns). <http://ontologydesignpatterns.org>
- [30] NeOn Project. <http://www.neon-project.org>
- [31] Скворцов, Н.А., Калиниченко, Л.А., Ковалев, Д.Ю.: Концептуальное моделирование предметных областей с интенсивным использованием данных. Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVIII Межд. конф. DAMDID / RCDL'2016 (11–14 октября 2016 года, Ершово, Московская обл., Россия): труды конференции. Под ред. Калиниченко, Л.А., Манолопулоса, Я., Кузнецова, С.О., сс. 34-42. М.: ФИЦ ИУ РАН (2016)
- [32] Соколова, Е.Г., Кононенко, И.С., Загоруйко, Ю.А.: Проблемы описания компьютерной лингвистики в виде онтологии для портала знаний. Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Межд. конф. «Диалог» (Бекасово, 4–8 июня 2008 г.), 7 (14), сс. 482-487. М.: РГГУ (2008)