

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗНОРОДНЫХ ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОНТОЛОГИЙ НАУЧНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

© 2020 г. Ю. А. Загорулько^{a,**}, О. И. Боровикова^{a,***}

^a *Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН
630090 Новосибирск, пр. Лаврентьева, 6, Россия*

**E-mail: zagor@iis.nsk.su*

***E-mail: olesya@iis.nsk.su*

Поступила в редакцию 18.02.2020 г.

После доработки 10.03.2020 г.

Принята к публикации 21.03.2020 г.

В статье представлен подход к разработке онтологий научных предметных областей, базирующийся на применении системы разнородных паттернов онтологического проектирования, которые представляют собой документально зафиксированные описания проверенных на практике решений типовых проблем онтологического моделирования. В эту систему входят как универсальные паттерны, предназначенные для описания типовых конструкций онтологии, так и паттерны, ориентированные на представление научных знаний. Применение такой системы паттернов позволяет не только обеспечить согласованное представление всех сущностей онтологии научной предметной области и тем самым избежать многих ошибок онтологического моделирования, но и сэкономить ресурсы, затрачиваемые на разработку этой онтологии.

DOI: 10.31857/S0132347420040068

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с проникновением технологий Semantic Web практически во все сферы человеческой деятельности появилась насущная потребность в формализации знаний различных предметных областей в виде онтологий. Особенно остро стоит проблема построения онтологий научных предметных областей (НПО), к которым обычно относят предметные области, охватывающие некоторую научную дисциплину или область научных знаний во всех ее аспектах.

Для разработки онтологий применяются различные методологии и подходы [1–4]. В последнее время интенсивно развивается подход, использующий паттерны онтологического проектирования (Ontology Design Patterns) или паттерны ОП (ODPs) [5–8]. Согласно этому подходу паттерны ОП представляют собой документально зафиксированные описания проверенных на практике решений типовых проблем онтологического моделирования. Несмотря на то, что использование паттернов ОП позволяет сэкономить человеческие ресурсы и повысить качество разрабатываемых онтологий, они пока не нашли широкого практического применения из-за ряда проблем, возникающих при их использовании.

В статье дается краткий обзор паттернов онтологического проектирования, анализируются проблемы их использования, описывается предложенный авторами подход к построению онтологий научных предметных областей, базирующийся на паттернах ОП. Паттерны ОП, используемые в данном подходе, появились в результате решения проблем онтологического моделирования, с которыми авторы статьи столкнулись в процессе разработки онтологий для различных научных предметных областей [9, 10].

2. КРАТКИЙ ОБЗОР ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Паттерны онтологического проектирования имеют в качестве своих прародителей шаблоны проектирования (design pattern), широко используемые в разработке программного обеспечения [11]. Аналогично шаблону проектирования, паттерны ОП предназначены для описания решений типичных проблем, возникающих при разработке онтологий [7].

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). (Заметим, что эта типология паттернов была предложена в рамках проекта NeOn [12].)

Из всех перечисленных типов паттернов при разработке онтологий инженерами знаний используются в основном структурные паттерны, паттерны содержания и паттерны представления. Рассмотрим их подробнее.

Существует два типа структурных паттернов: логические и архитектурные. Логические паттерны (Logical ODPs) фиксируют способы решения проблем, вызванных ограничениями выразительных возможностей языков описания онтологий. Архитектурные паттерны (Architectural ODPs) задают общий вид онтологии: набор логических паттернов, из которых может строиться онтология, или ее модульную архитектуру, заданную в виде сети онтологий, каждая из которых играет роль модуля.

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

Паттерны представления определяют правила (рекомендации) именования и аннотирования различных сущностей онтологии. Применение этих правил должно повысить читаемость онтологии, а также удобство и простоту ее использования.

В настоящее время создано и развивается несколько каталогов паттернов ОП [13–15]. Наиболее представительный из них размещен на портале Ассоциации ODPA (Association for Ontology Design & Patterns) [13], созданном в рамках проекта NeOn [12].

Паттерны ОП чаще всего описываются в формате, предложенном на портале ассоциации ODPA [13]. Согласно этому формату описание паттерна включает сведения о его авторе и области применения, его графическое представление, текстовое описание, набор сценариев, примеры использования и ссылки на другие паттерны. Паттерны содержания также могут снабжаться набором вопросов компетенции (Competency questions) [6, 7], которые могут использоваться как при разработке паттернов, так и при разработке конкретной онтологии для поиска нужных паттернов.

3. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Первая проблема повторного использования паттернов обусловлена их сложностью – зачастую разработчику новой онтологии трудно понять семантику, которую заложили в паттерн его

авторы. В последнее время наблюдается тенденция к упрощению паттернов [16]. Появились даже, так называемые, метапаттерны, которые описывают очень простые сущности [17]. Однако такие простые паттерны не могут существенно облегчить построение онтологий НПО.

Другая проблема вызвана отсутствием удобных инструментов разработки онтологий, поддерживающих использование паттернов ОП. Здесь можно отметить плагины для инструмента разработки онтологий проекта NeOn [12] и редактора онтологий WebProtégé [18]. Однако первый плагин доступен только для участников проекта NeOn, а второй может использоваться только в редакторе WebProtégé, который не очень популярен среди разработчиков онтологий из-за его ограниченной функциональности (по сравнению с настольной версией).

Третья проблема состоит в том, что паттерны описываются и применяются отдельно и не составляют единой системы.

С этой проблемой перекликается четвертая проблема, связанная с отсутствием систематизированных наборов паттернов, ориентированных на специалистов в предметной области. Существующие каталоги паттернов не отвечают этому требованию.

Что касается наличия в широком доступе паттернов, которые можно было бы использовать при разработке онтологий НПО, то упомянутые выше каталоги лишь частично покрывают потребности построения онтологий научных областей.

4. ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОНТОЛОГИЙ НАУЧНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассмотрим подход, обеспечивающий повторное использование паттернов ОП при построении онтологий НПО. Данный подход предлагает систему разнородных паттернов ОП [19], реализованных на языке OWL [20], а также методы и средства, поддерживающие их совместное использование при разработке онтологий НПО.

Заметим, что разнородность паттернов ОП выражается не только в их разнообразии по типам, но и по назначению и предметным областям, для которых они создаются.

На данный момент используются четыре типа паттернов: структурные паттерны, паттерны содержания, паттерны представления и лексико-синтаксические паттерны. При этом одна часть этих паттернов является универсальной, другая часть ориентирована на представление научных знаний.

Важной особенностью данного подхода является использование базовых (ядерных) онтологий, включающих только самые общие сущности, не зависящие от конкретной НПО. Большая

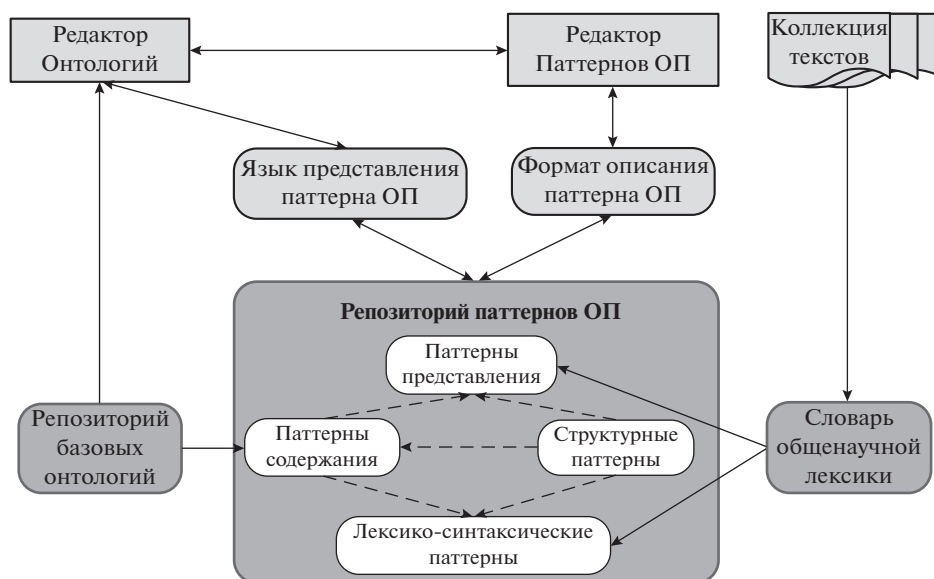


Рис. 1. Система автоматизированного построения онтологий НПО на основе разнородных паттернов онтологического проектирования.

часть таких сущностей представлена паттернами содержания.

Перечисленные выше средства образуют систему автоматизированного построения онтологий НПО, которая состоит из следующих компонент (рис. 1):

- *репозитория паттернов ОП*, включающего паттерны ОП, представленные на одном из языков описания паттернов или в соответствующем формате;
- *форматов (способов) представления* паттернов ОП всех типов, имеющихся в системе;
- *набора языков для описания паттернов ОП разных типов*;
- *репозитория базовых онтологий*, на основе которых строятся онтологии конкретных НПО;
- *словаря общенаучной лексики*, содержащего лексику, характерную для большинства научных предметных областей;
- *редакторов онтологий и паттернов ОП*, служащих для построения онтологии НПО и специализации паттернов.

4.1. Структура и содержание онтологии НПО и базовых онтологий

Онтология любой НПО содержит не только описание присущих ей системы понятий, задач и методов обработки и анализа информации, но и описание релевантных ей информационных ресурсов. В связи с этим онтологию НПО можно представить в виде системы взаимосвязанных онтологий, отвечающих за представление указанных выше трех компонент знаний, а именно:

онтологии области знаний, онтологии задач и методов, а также онтологии научных интернет-ресурсов.

Онтология области знаний задает систему понятий и отношений, предназначенных для детального описания моделируемой НПО и выполняемой в ее рамках научной и исследовательской деятельности. Онтология задач и методов описывает задачи, решаемые в данной НПО, и методы их решения. Онтология научных интернет-ресурсов служит для описания, представленных в сети Интернет информационных ресурсов, релевантных данной НПО.

Так как разработка онтологии НПО «с нуля» является непростой задачей, предложен метод ее построения на основе небольшого, но представительного набора базовых онтологий, в который входят: (1) онтология научного знания, (2) онтология научной деятельности, (3) базовая онтология задач и методов, (4) базовая онтология информационных ресурсов.

Как было сказано выше, все базовые онтологии имеют спецификации на языке OWL [20].

Онтология научного знания содержит классы, задающие структуры для описания понятий, входящих в любую НПО. Такими понятиями являются Раздел науки, Объект исследования, Предмет исследования, Метод исследования, Научный результат и др.

Онтология научной деятельности включает классы понятий, относящиеся к организации научно-исследовательской деятельности, такие как Персона, Организация, Событие, Научная деятельность, Проект, Публикация и др.

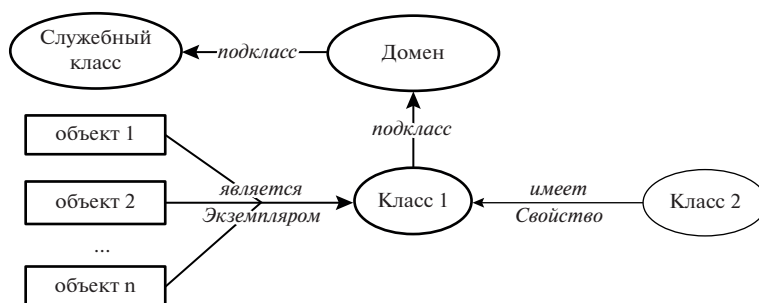


Рис. 2. Структурный паттерн представления области допустимых значений.

Базовая онтология информационных ресурсов включает класс Информационный ресурс в качестве основного класса. Набор атрибутов и связей этого класса основан на стандарте Dublin core [21].

С помощью понятий и отношений базовой онтологии задач и методов могут быть описаны задачи, решаемые в данной НПО, методы их решения и реализующие их программные компоненты и алгоритмы.

4.2. Система паттернов онтологического проектирования

В состав репозитория паттернов ОП включены паттерны четырех типов: структурные логические паттерны, паттерны содержания, паттерны представления и лексико-синтаксические паттерны.

Паттерны представления задают принятые в рассматриваемом подходе правила именования и аннотирования элементов онтологии, близкие к правилам, принятым в сообществе онтологического моделирования [22]. Кроме того, с помощью этих паттернов могут задаваться способы визуализации основных сущностей онтологии (расширенного описания объектов онтологии) [23].

Необходимость в использовании структурных логических паттернов возникла из-за отсутствия в языке OWL выразительных средств для представления сложных сущностей и конструкций, актуальных при построении онтологий НПО, в частности, областей допустимых значений, многоместных и атрибутированных отношений (бинарных отношений с атрибутами).

Структурный паттерн для представления области допустимых значений предназначен для задания таких конструкций, которые в реляционной модели данных [24] называются доменами и характеризуются названием и множеством элементарных значений. Домены удобно использовать при описании возможных значений свойств класса, когда весь набор таких значений известен заранее. В этом паттерне домен задается перечислимым классом, который является наследником специально введенного служебного класса *Домен*

и состоит из конечного набора различных индивидов (объектов), определяющих возможные значения некоторого свойства (см. рис. 2).

Примерами таких доменов являются “Географический тип”, “Должность”, “Тип организации”, “Тип публикации”, которые включают соответственно виды населенных пунктов, виды должностей, типы организаций и публикаций.

Заметим, что на приведенных в статье рисунках паттернов классы обозначаются в виде эллипсов, а индивиды и атрибуты — в виде прямоугольников. Связь типа *ObjectProperty* (отношение) показывается сплошной прямой линией, а связь типа *DataProperty* (атрибут) — прерывистой. При этом классы, индивиды и атрибуты, которые должны обязательно присутствовать в паттерне, представлены заштрихованными и/или обведенными жирной линией фигурами. Жирной линией также представляются обязательные связи.

Для представления атрибутированных отношений предложен структурный логический паттерн, показанный в левой части рис. 3.

Центральное место в данном паттерне занимает служебный класс *Отношение с атрибутами*, с которым связываются базовые классы, моделирующие аргументы бинарного отношения, посредством связей *являетсяАргументом1* и *имеетАргумент2*. При этом атрибуты бинарного отношения моделируются свойствами данного класса (в нотации языка OWL либо *DataProperty*, либо *ObjectProperty*) *имеетАтрибут* и *имеетАтрибутИзДомена*. Для представления конкретного типа отношения вводится новый класс, являющийся наследником класса *Отношение с атрибутами*.

На основе паттерна атрибутированного отношения строятся путем его специализации паттерны для представления отношений, служащих для описания участия персон или организаций в каких-то событиях и деятельности, для описания факта работы персоны в организации на определенной должности и в определенный период времени и т.п.

В правой части рис. 3 приведен пример специализации паттерна для описания участия персо-

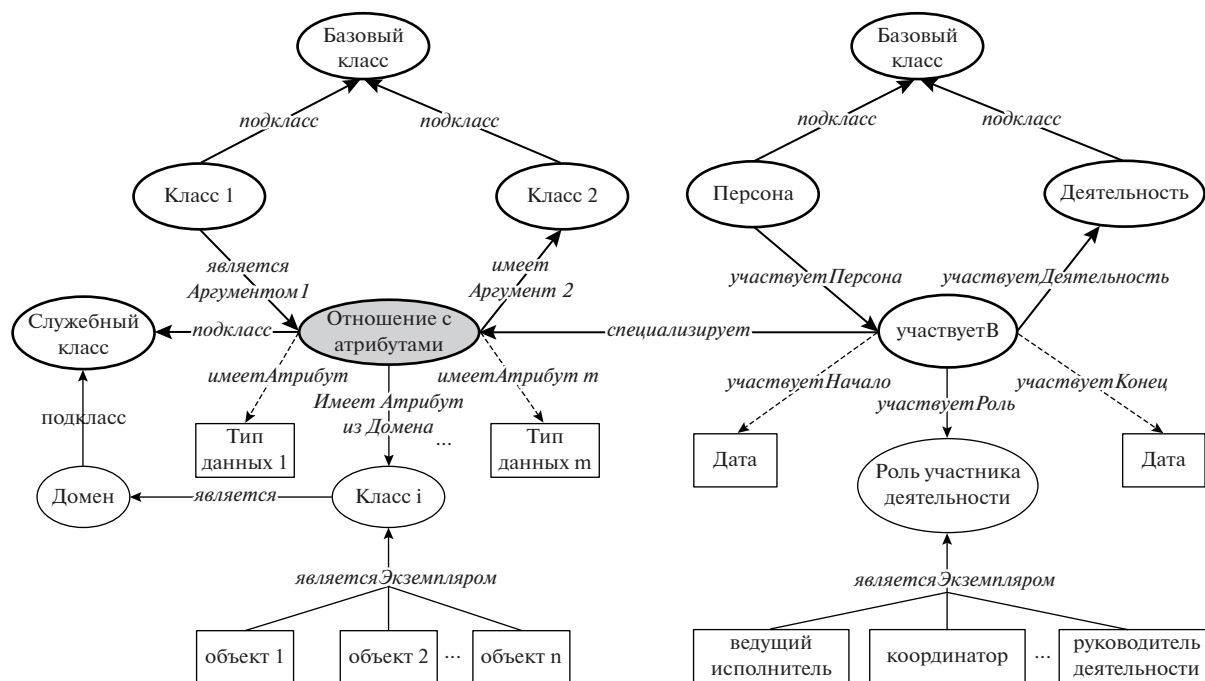


Рис. 3. Структурный паттерн направленного бинарного атрибутивного отношения и пример его специализации.

ны в научной деятельности. Класс *Персона* выступает в качестве первого аргумента, класс *Деятельность* является вторым аргументом. Для каждого экземпляра класса *участвуетВ* с помощью свойства *FunctionalProperty* накладываются требования к указанию только одной даты начала участия и одной даты завершения участия, а путем накладывания ограничений на свойства *участвуетПерсона*, *участвуетДеятельность*, *являетсяАргументом1* и *имеетАргумент2* описываются требования на количество и тип аргументов отношения.

Подобным образом строится паттерн для представления многоместного отношения.

Для единообразного и непротиворечивого представления используемых в НПО понятий и их свойств были разработаны паттерны содержания, описывающие основные понятия базовых онтологий. Благодаря этому, разработка онтологии конкретной НПО в основном состоит в специализации паттернов содержания и построении на их основе фрагментов целевой онтологии.

В качестве примера приведем паттерн, предназначенный для описания прикладных задач, решаемых в рамках научной предметной области (см. рис. 4).

С этим паттерном связывается следующий набор вопросов компетенции:

- Какими методами решается задача?
- Какие данные используются для решения задачи?
- Что является результатом решения задачи?
- К какому разделу науки относится задача?

Кто формулирует задачу?

и др.

Следует заметить, что входящие в предлагаемый набор паттерны содержания связаны между собой через общие понятия и отношения и тем самым образуют единую семантическую сеть содержательных паттернов.

Например, представленные на рис. 5 паттерны содержания, описывающие понятия *Деятельность* и *Персона*, связаны между собой не только атрибутивным отношением *участвуетВ*, но и через понятия *Организация*, *Публикация*, *Метод исследования* и *Научный результат*. (Заметим, что атрибутивные отношения *участвуетВ* и *работаетВ* показаны на рисунке пунктирной линией.)

Лексико-синтаксические паттерны [25, 26] задают отображения между языковыми структурами (фрагментами текста) и элементами онтологии и применяются для автоматизации построения и пополнения онтологий на основе текстов на естественном языке (ЕЯ) [27]. Элементами лексико-синтаксических паттернов являются группы слов и словосочетаний ЕЯ, которые представлены в словаре общенаучной лексики и соответствуют описаниям онтологических конструкций, заданным как в языке описания онтологий, так и в структурных логических паттернах, паттернах содержания и представления.

Для построения и пополнения онтологий для каждого паттерна содержания и структурного паттерна разрабатывается или автоматически ге-

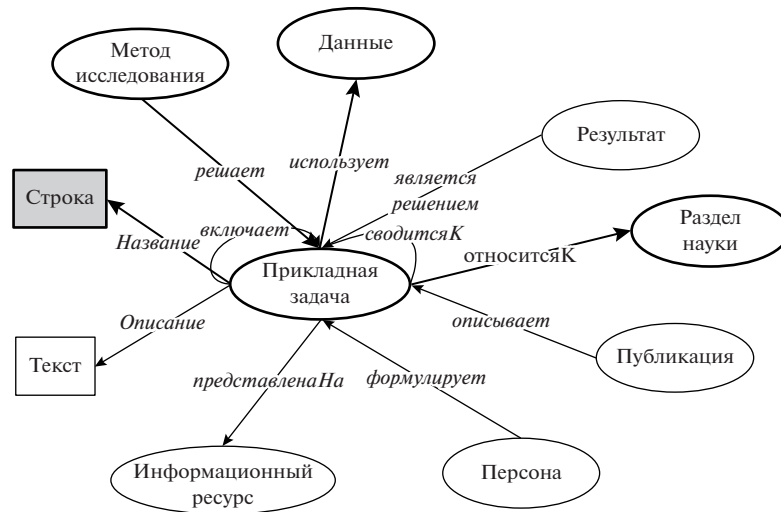


Рис. 4. Паттерн для описания прикладной задачи.

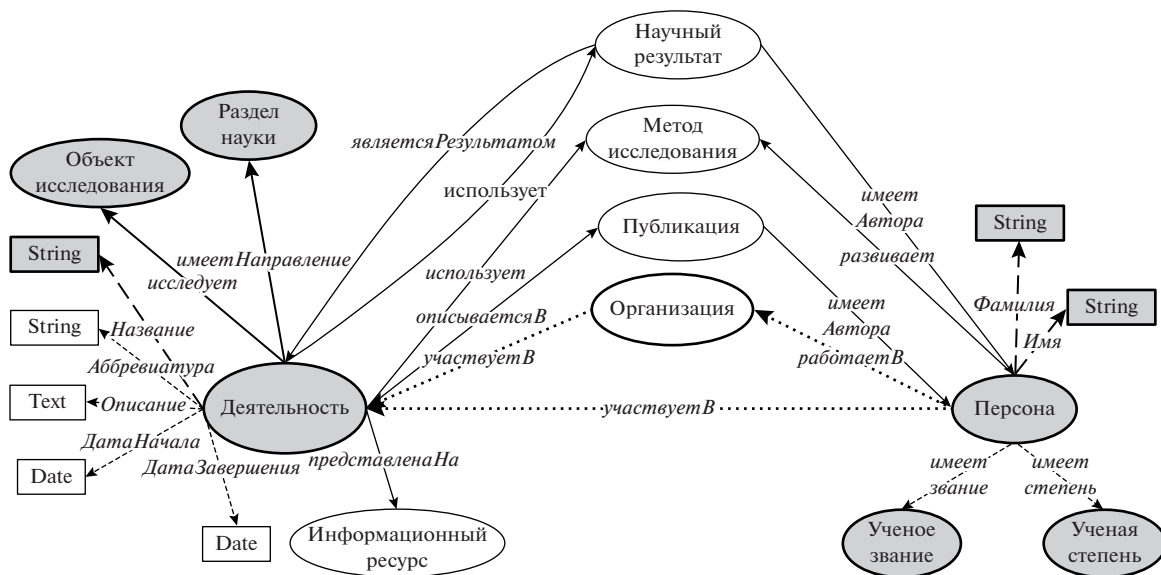


Рис. 5. Фрагмент сети паттернов.

нерируется свой набор лексико-синтаксических паттернов.

Так для паттерна содержания, описывающего *Метод исследования*, разработаны следующие лексико-синтаксические паттерны, предназначенные для извлечения из текста информации о свойстве *название* экземпляра класса *Метод исследования* [28]:

$NM_i = NP_1 \langle \text{метод, } c=\text{acc} \rangle [.] VP_a \langle \text{называть} \rangle [.] NP_2 \langle c=\text{ins} \rangle \langle NP_1.n = NP_2.n \rangle$

$NM_j = VP_aP \langle \text{предлагать} \rangle [.] NP_1 \langle \text{метод} \rangle [.] VP_a \langle \text{называть} \rangle [.] NP_2 \langle c=\text{ins} \rangle \langle NP_1.n = NP_2.n \rangle$

Эти паттерны представлены на модифицированной версии языка, предложенного в работе [29], и используют предварительно заданные шаблоны именной группы (NP), глагольной лексемы, включающей личные формы глагола и причастия ($VP_a = V|Pa$), и глагольной группы (VP и VP_aP). Здесь PnP обозначает личное местоимение, точка обозначает разрыв в фрагменте текста, в квадратных скобках помещается факультативный элемент.

4.3. Метод построения онтологии НПО

Построение онтологии конкретной НПО включает три основных этапа:

1. Построение компонентов онтологии НПО на основе базовых онтологий путем их доработки и развития. Этот этап включает специализацию представленных в базовых онтологиях паттернов содержания на конкретную НПО.

2. Пополнение онтологии НПО путем конкретизации (означивания) структурных паттернов и паттернов содержания, представленных в базовых онтологиях или полученных из таких паттернов путем их специализации на конкретную НПО.

3. Построение и пополнение онтологии НПО на основе лексико-синтаксических паттернов.

При этом составная часть онтологии НПО – онтология области знаний – строится на основе онтологий научного знания и научной деятельности, онтология задач и методов – на основе базовой онтологии задач и методов, онтология научных интернет-ресурсов – на основе базовой онтологии интернет-ресурсов.

Использование паттернов содержания для пополнения онтологии НПО поддерживается специальным редактором данных [30], который позволяет специалистам в предметной области пополнять онтологию фактическими данными – объектами классов и их свойствами. При пополнении онтологии пользователь из представленной ему иерархии классов онтологии выбирает нужный класс, редактор по имени класса находит соответствующий паттерн и на его основе строит форму, содержащую поля для заполнения свойств объекта этого класса пользователем. При этом редактор может интерпретировать отношения с атрибутами, описанные паттерном на рис. 2. Благодаря этому пользователь может работать с задаваемыми с помощью таких отношений свойствами объекта как с “обычными” object properties. Отличие будет состоять в необходимости задания в отдельном окне значений атрибутов такого отношения.

5. БЛИЗКИЕ РАБОТЫ

Хотя исследования по разработке паттернов ОП ведутся уже много лет [5], но задумываться о систематизации паттернов ОП и их эффективном практическом применении (например, как лучше приспособить паттерны к использованию в научных и промышленных проектах) стали не так давно [31]. Каталоги паттернов ОП начали создавать, когда накопилась их критическая масса. Вскоре выяснилось, что одного только формата описания паттернов для ведения каталога недостаточно, поэтому появились работы по систематизации паттернов и организации их совместного использования [32–34].

В работе [32] вводится так называемый язык онтологических паттернов (Ontology Pattern Language или OPL) в виде сети взаимосвязанных пат-

тернов содержания, ориентированных на определенную предметную область, вместе с процедурными правилами, описывающими порядок, в котором они могут комбинироваться при построении онтологии. Паттерны должны быть закодированы на языке представления знаний высокого уровня. В данном подходе предлагается использовать для этого язык OntoUML [35].

Второй подход [33] предлагает простой язык для описания паттернов ОП, который совместим с существующими стандартами и инструментами разработки онтологий (в частности, с языком OWL и редактором Protégé) и может быть расширен до более сложной парадигмы представления паттернов ОП.

Главной идеей подхода является использование аннотационных свойств языка OWL (OWL Annotation Properties) для идентификации паттернов и описания отношений между ними и элементами и модулями онтологии, в которых они используются. Средства для такого аннотирования представляются в онтологии, разработанной в рамках данного подхода и получившей название OPLa. С помощью описанных такими средствами аннотаций обеспечивается документирование использования паттернов и модулей не только во время разработки онтологии, но и после нее. Помимо того, что такие аннотации хранят записи о происхождении паттернов, они также облегчают поиск конкретных паттернов, модулей и онтологий и упрощают процесс выравнивания онтологий.

В следующем подходе предлагается библиотека OTTR (Reasonable Ontology Templates) [34], которая предоставляет разработчикам онтологий паттерны ОП в виде высокоуровневых OWL-макросов. В сущности, такие паттерны представляют собой n-арные отношения, которые связывают простой табличный формат ввода, определяемый заголовком паттерна, с богатой онтологической структурой, представленной в его теле, в том числе, с помощью композиции других паттернов. На основе заголовка паттерна могут быть созданы различные форматы ввода табличных данных, что позволяет инженерам знаний разрабатывать шаблоны, ориентированные на сбор знаний от экспертов заданной предметной. При описании паттернов на языке OWL используется специальный словарь OTTR OWL.

Что касается работ по созданию наборов или систем паттернов, ориентированных на определенный класс предметных областей, то их не так много [36]. Наибольший прогресс наблюдается в создании систем паттернов ОП, предназначенных для построения онтологий в области биоинформатики, биологии и медицины [37–39].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И БУДУЩИЕ РАБОТЫ

В статье рассмотрены проблемы применения паттернов онтологического проектирования для разработки онтологий научных предметных областей. Представлен подход к разработке онтологий НПО, решающий большинство из этих проблем. Данный подход поддерживается системой различных паттернов онтологического проектирования, описывающих основные конструкции и сущности, необходимые для описания научных предметных областей, и редактором данных, позволяющим пополнять онтологию фактическими данными путем означивания паттернов содержания. Благодаря простоте и понятности системы паттернов и редактора данных этим подходом могут пользоваться не только инженеры знаний, но и специалисты в моделируемой области знаний.

Данный подход показал свою практическую полезность при разработке онтологий различных научных предметных областей (“Поддержка принятия решений” [40], “Активная сейсмология” [41] и др.).

В ближайшее время планируется реализация лексико-синтаксических паттернов онтологического проектирования для поддержки автоматизированного построения и пополнения онтологий НПО. Сами лексико-синтаксические паттерны предполагается автоматически генерировать на основе входящих в систему паттернов содержания и структурных паттернов с использованием словаря синонимов и тезауруса предметной области.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-07-00762) и Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект № AP 05133546).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fernández-López M., Gómez-Pérez A., Pazos A., Pazos J.* Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment // IEEE Intelligent Systems & their applications. 1999. V. 4. № 1. P. 37–46.
2. *Sure Y., Staab S., Studer R.* Ontology Engineering Methodology // Handbook on Ontologies, Eds., *Staab S., Studer R.* Berlin: Springer Verlag, 2009. P. 135–152.
3. *Pinto H., Staab S., Tempich C.* DILIGENT: Towards a fine-grained methodology for DIstributed, Loosely-controlled and evolVInG Engineering of oNTologies // Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. IOS Press. 2004. V. 110. P. 393–397.
4. *De Nicola A., Missikoff M., Navigli R.A.* Proposal for a Unified Process for Ontology Building: UPON. In: Database and Expert Systems Applications, Eds., Andersen, K.V., J. Debenham, R. Wagner DEXA 2005 // Lecture Notes in Computer Science. 2005. V. 3588. P. 655–664.
5. *Gangemi A., Presutti V.* Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies, Eds., *Staab S. and R. Studer.* Berlin: Springer Verlag, 2009. P. 221–243.
6. *Blomqvist E., Hammar K., Presutti V.* Engineering Ontologies with Patterns: The eXtreme Design Methodology // Ontology Engineering with Ontology Design Patterns. Studies on the Semantic Web, Eds., *Hitzler P., and A. Gangemi, K. Janowicz, A. Krisnadhi, V. Presutti, IOS Press.* 2016. P. 23–50.
7. *Karima N., Hammar K., Hitzler P.* How to Document Ontology Design Patterns // Advances in Ontology Design and Patterns. IOS Press, Kobe, Japan. 2017. V. 32. P. 15–27.
8. *Ломов П.А.* Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний // Онтология проектирования. 2015. Т. 5. № 2(16). С. 233–245.
9. *Ануреев И.С., Батура Т.В., Боровикова О.И., Загорулько Ю.А., Кононенко И.С., Марчук А.Г., Марчук П.А., Мурзин Ф.А., Сидорова Е.А., Шилов Н.В.* Модели и методы построения информационных систем, основанных на формальных, логических и лингвистических подходах / Отв. ред. А.Г. Марчук; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем информатики им. А.П. Ершова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 330 с.
10. *Zagorulko Yu., Borovikova O.* Technology of Ontology Building for Knowledge Portals on Humanities // Knowledge Processing and Data Analysis / K.E. Wolf et al.(Eds): KONT/KPP 2007. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. V. 6581. P. 203–216.
11. *Johnson R., Vlissides J., Helm R.* Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software by Erich Gamma. Addison-Wesley Professional, Boston, 1994. 395 p.
12. Проект NeOn. <http://www.neon-project.org>.
13. Портал ассоциации ODP (Association for Ontology Design & Patterns). <http://ontologydesignpatterns.org>.
14. Ontology Design Patterns (ODPs) Public Catalog. 2009. <http://odps.sourceforge.net>.
15. *Dodds L., Davis I.* Linked Data Patterns. 2012. <http://patterns.dataincubator.org/book>.
16. *Krisnadhi A., Hitzler P.* A Core Pattern for Events // Advances in Ontology Design and Patterns. IOS Press, Kobe, Japan, 2017. P. 29–37.
17. *Krisnadhi A., Hitzler P.* The Stub Metapattern // Advances in Ontology Design and Patterns. IOS Press, Kobe, Japan, 2017. V. 32. P. 39–45.
18. *Hammar K.* Ontology Design Patterns in WebProtégé // Proceedings of 14th International Semantic Web Conference (ISWC-2015). Posters & Demonstrations Track. CEUR Workshop Proceedings. 2015. V. 1486. http://ceur-ws.org/Vol-1486/paper_50.pdf
19. *Zagorulko Y., Borovikova O., Zagorulko G.* Development of Ontologies of Scientific Subject Domains Using Ontology Design Patterns // Communications in Computer and Information Science. 2018. V. 822. P. 141–156.

20. *Antoniou G., Harmelen F.* Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies, Eds., *Staab, S. and R. Studer.* Berlin: Springer Verlag, 2009. P. 91–110.
21. DCMI Metadata Terms. <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms>.
22. *Noy N., McGuinness D.* Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
23. *Загорюлько Ю.А., Боровикова О.И., Загорюлько Г.Б.* Использование паттернов онтологического проектирования для разработки онтологий предметных областей // Материалы Всероссийской конф. с международным участием “Знания—Онтология—Теория” (ЗОНТ-2017), Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2017. Т. 1. С. 139–148.
24. *Дейт К.Дж.* Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. 8-е изд. М.: “Вильямс”, 2006. 1328 с.
25. *Maynard D., Funk A., Peters W.* Using lexico-syntactic ontology design patterns for ontology creation and population // Proceedings of WOP2009, vol. 516. P. 39–52. CEUR Workshop Proceedings, <http://ceur-ws.org/Vol-516/pap08.pdf>
26. *Ломов П.А.* Программная реализация технологии генерации лексико-синтаксических паттернов для поддержки решения задач обучения онтологий // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 10. С. 120–128.
27. *Гаранина Н.О., Сидорова Е.А.* Пополнение онтологий на основе алгебраического формализма информационных систем и мультиагентных алгоритмов анализа текста // Программирование. МАИК “Наука/Интерпериодика”. 2015. № 3. С. 32–43.
28. *Боровикова О.И., Загорюлько Ю.А., Кононенко И.С.* О применении паттернов онтологического проектирования для извлечения информации из научных текстов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 4 (12). С. 18–29.
29. *Большакова Е.И., Баева Н.В., Бордаченкова Е.А., Васильева Н.Э., Морозов С.С.* Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текстов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Международной конференции Диалог’2007. М.: Издательский центр РГГУ, 2007. С. 70–75.
30. *Zagorulko Yu., Borovikova O., Zagorulko G.* Pattern-Based Methodology for Building the Ontologies of Scientific Subject Domains // New Trends in Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques. Proceedings of the 17th International Conference SoMeT_18. H. Fujita and E. Herrera-Viedma (Eds.). Series: Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. Amsterdam: IOS Press, 2018. V. 303. P. 529–542.
31. *Hammar K., Blomqvist E., Carral D., Van Erp M., Fokkens A. et al.* Collected Research Questions Concerning Ontology Design Patterns // Pascal Hitzler, Aldo Gangemi, Krzysztof Janowicz, Adila Krisnadhi, Valentina Presutti (ed.), Ontology Engineering with Ontology Design Patterns. Vol. 25. Series: Studies on the Semantic Web. IOS Press, 2016. P. 189–198. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-676-7-189>
32. *de Almeida Falbo R., Barcellos M.P., Nardi J.C., Guizzardi G.* Organizing Ontology Design Patterns as Ontology Pattern Languages // Cimiano P., Corcho O., Presutti V., Hollink L., Rudolph S. (eds) The Semantic Web: Semantics and Big Data. ESWC 2013. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. V. 7882. P. 61–75.
33. *Hitzler P., Gangemi A., Janowicz K., Krisnadhi A., Presutti V.* Towards a simple but useful ontology design pattern representation language // Blomqvist E., et al. (eds.) Proceedings of WOP 2017. Vienna, Austria, October 21. CEUR Workshop Proceedings, 2017. V. 2043. <http://ceur-ws.org/Vol-2043/paper-09.pdf>
34. *Skjæveland M.G., Forssell H., Klüwer J.W., Lupp D., Thorstensen E., Waaler A.* Pattern-Based Ontology Design and Instantiation with Reasonable Ontology Templates // Blomqvist E., et al. (eds.) Proceedings of the WOP 2017. Vienna, Austria, October 21. CEUR Workshop Proceedings, 2017. V. 2043. <http://ceur-ws.org/Vol-2043/paper-04.pdf>
35. *Guizzardi G.* Ontological Foundations for Structural Conceptual Models, Universal Press, The Netherlands, 2005.
36. *Lawrynowicz A., Esteves D., Panov P., Soru T., Dzeroski S., Vanschoren J.* An algorithm, implementation and execution ontology design pattern // ISWC Workshop on Ontology and Semantic Web Patterns, 2016. https://pure.tue.nl/ws/files/53360523/WOP2016_paper_07.pdf
37. *Mortensen J., Horridge M., Musen M., Noy N.* Modest Use of Ontology Design Patterns in a Repository of Biomedical Ontologies // Proceedings of the WOP 2012, Boston, USA, November 12, 2012. V. 929. CEUR Workshop Proceedings, 2012. <http://ceur-ws.org/Vol-929/paper4.pdf>
38. *Osumi-Sutherland D., Courtot M., Balhoff J. et al.* Dead simple OWL design patterns // Journal of Biomedical Semantics. 2017. V. 18. № 8.
39. *Brochhausen M., Burgun A., Ceusters W., Hasman A., Leong T.Y., Musen M., Oli-veira J.L., Peleg M., Rector A., Schulz S.* Discussion of “biomedical ontologies: toward scientific debate” // Methods of Information in Medicine. 2011. V. 50. № 3. P. 217–236.
40. *Загорюлько Г.Б.* Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. № 4 (22). С. 485–500.
41. *Braginskaya L., Kovalevsky V., Grigoryuk A., Zagorulko G.* Ontological approach to information support of investigations in active seismology // Proceedings of the 2nd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC), Vladivostok, Russky Island, Russia, 25–29 September, 2017. P. 27–29.