

ИНТЕГРАЦИЯ ДЕСКРИПТИВНЫХ ЛОГИК С ОПЕРАЦИЯМИ НАД РОЛЯМИ С РЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛЬЮ ДАННЫХ

Работа является логическим продолжением ранее опубликованных исследований, посвященных описанию отображений между дескриптивной логикой и реляционной моделью данных. На основе, созданной ранее, бинарной реляционной структуры данных, осуществляется отображение расширений дескриптивной логики ALC в реляционную модель данных (RDM). В работе используются полученные ранее результаты исследований, а именно структура данных RM^2 , отображения базовых концептов логики ALC в RDM, отображения классических расширений ALC в RDM.

Ключевые слова: семантическая интеграция данных, семантический веб, отображение данных, реляционная модель данных, онтология, ALC, дескриптивная логика, расширения дескриптивных логик.

Введение

Проблема интеграции данных не является новой в современном научном пространстве, продолжая приобретать все большую актуальность с развитием новых, современных технологий. В информационных системах интеграция данных понимается как обеспечение единого унифицированного интерфейса для доступа к некоторой совокупности, вообще говоря, неоднородных независимых источников данных. Таким образом, для пользователя информационные ресурсы всей совокупности интегрируемых источников представляются как новый единый источник. Система, обеспечивающая пользователю такие возможности, называется *системой интеграции данных* [5]. Такая система позволяет пользователю не задумываться над тем, данные из каких источников (кроме текущего, интегрированного) он использует, каковы характеристики этих источников и как осуществить доступ к ним.

Данная работа продолжает ряд наших исследований по созданию механизмов интеграции данных в семантическом вебе. В работе [1] была подробно рассмотрена комплексная проблема интеграции данных (ее составляющие, анализ современных подходов к решению и обозначены наиболее перспективные из них). Она состоит из трех основных компонентов: *выработка схем интеграции данных, выработка отображений между моделями, выработка способов манипулирования данными*. Основываясь на результатах

этой работы, автором была проработана вторая составляющая комплексной проблемы интеграции данных, в результате чего был создан механизм отображения базовых концептов дескриптивной логики ALC в реляционную модель данных (RDM), который детальным образом изложен в работе [2]. В разделе 1 кратко изложена суть исследований, результаты которых изложены в предыдущих работах. В разделе 2 приведено содержательное описание логик с операциями над ролями. В разделе 3 изложено описание механизмов отображения этих логик в бинарную реляционную структуру данных. Раздел 4 посвящен основным выводам.

Краткое описание основных понятий

Основу наших исследований составляет следующий тезис: DL можно рассматривать как модель данных. Обоснование этого утверждения было приведено в [2], поэтому мы не останавливаемся на нем подробнее. Проанализировав ряд публикаций, посвященных созданию отображений между реляционной моделью данных и онтологией, мы пришли к выводу, что описанный нами подход имеет ряд преимуществ над прочими. Прежде всего, следует отметить, что независимо от вариантов установления отображения следует отслеживать и управлять следующими ситуациями [1].

Возможная потеря данных. Преобразование должно быть таким, что результирующая модель содержала в себе все данные исходной модели.

Возможная потеря семантики. Возможна ситуация, когда данные не теряются, но их семантика при преобразовании «теряется». К таким семантическим характеристикам, например, в реляционной модели относятся ограничения целостности. При преобразовании следует либо гарантировать сохранение семантики, либо указывать, в каких случаях какая именно семантика теряется.

Полнота преобразования. Полнота предполагает, что все, что представимо в исходной модели, может быть преобразовано в результирующую модель.

Взаимная однозначность. Она предполагает, что результат преобразования при обратном отображении дает исходный объект исходной модели.

Наши исследования проводятся в условиях, когда все вышеизложенные ситуации отслеживаются и принимаются во внимание.

Приведем здесь краткие выводы, которые мы сформулировали в результате анализа исследований, изложенных в статье [2]:

1. Отсутствие формального подхода. В качестве информационной модели семантического веба, выбирается онтология и, как правило, в ее лице берется OWL. Учитывая то, что язык OWL сам по себе не является формальным языком, описание механизма отображений дается на содержательном уровне в виде набора описательных правил. В нашем случае для описания отображений мы берем DL, что дает возможность поставить проблему отображений на более формальный уровень.

2. Односторонний механизм описания отображений. Как правило, независимо описываются отображения из онтологии в RDM и наоборот, проблема установления взаимно-однозначного соответствия при этом не решается. Мы стремимся к тому, чтобы в нашем подходе эта проблема была решена.

3. Отображаются только структурные составляющие моделей. Суще-

ствующие механизмы описывают отображение только структурных компонент модели данных. Абсолютно ничего не говорится об отображении конструкторов концептов и ролей, с одной стороны, и операций реляционной алгебры – с другой. Наш подход заключается в том, чтобы также отразить и эту составную часть отображений.

4. Конструкции, которые не отображаются. Совершенно не понятно, каким образом отображать в классическую реляционную модель аксиомы DL (равенства, включения и непересекаемости концептов). Мы предлагаем реляционную структуру, которая предоставляет такие возможности.

5. Гипотезы открытого мира и не уникальности имен. DL строится в предположении существования гипотез открытого мира и не уникальности имен. В свою очередь, реляционная модель формулируется из предположения существования гипотез замкнутого мира и уникальности имен. Предлагая свой вариант реляционной структуры, мы отчасти решаем эти противоречия.

Как было сказано, основополагающей частью механизма отображений является центральная схема, в роли которой выступает DL ALC, представленная в виде модели данных. В [2] приводится обоснование такого выбора. Для данной работы приведем лишь наиболее важные аспекты.

1. **ALC является базой для многих современных DL.** Логика ALCF, ALCN, ALCQ, ALCI, ALC(o), представленные в данной работе, расширяют синтаксис ALC. Это означает, что все базовые понятия ALC обязательно представлены в каждой из этих логик.

2. **ALC представлена в виде модели данных.** Для этого мы создали реляционную структуру, которая является специальным вариантом классической реляционной структуры, в терминах которой мы описали эту модель. Это сделано с помощью языка ER при посредничестве ER-модели. Графическое представление ER-схемы было приведено в [2].

3. **Структура не содержит сущностей, которые представляют n-арные отношения.** В структуре присутствуют только те сущности, которые представляют унарные и бинарные отношения, так как в DL ALC n-арные отношения и их экземпляры отсутствуют. Следует отметить, что DL с n-арными отношениями существуют, однако они представляют собой специальные расширения ALC, поэтому на данном этапе мы решили отказаться от них.

4. **В нашей структуре представлена как модельная, так и метамодельная часть.** Метамодельная часть – сущности Concept и Role, содержащие перечни имен концептов и ролей соответственно. Модельная часть – Concept Individual и Role Individual, которые представляют собой индивиды концептов и индивиды ролей. В явном виде таких элементов, как индивиды ролей нет в DL, однако мы вводим данную сущность для связывания индивидов концептов с именами ролей.

5. **Наличие сущностей-связок.** С помощью сущностей-связей, которые обозначены как « \Leftarrow », « \sqsubseteq » и « \emptyset » для сущностей концептов и ролей, представляются аксиомы равенства, включения и непересекаемости концептов и ролей логики DL ALC. Сущность-связка « \Leftarrow » представлена для индивидов концептов и предназначена для представления аксиом равенства индивидов в DL. Она показывает, что у одного индивида может быть множество имен, то есть не выполняется принцип уникальности. Однако по-прежнему одно имя именуется только один индивид. Следует отметить, что для индивидов ролей мы не вводим такую аксиому, потому что на данный момент этот вопрос недостаточно исследован, и у нас нет никаких оснований утверждать, что одна и та же связь между одними и теми же индивидами может иметь несколько имен. Поэтому, в нашей структуре верно лишь утверждение о том, что экземпляр роли существует и представляет собой пару индивидов концептов, связанную определенной ролью.

6. **Роль существует как самостоятельная единица.** В любой DL роль не

может существовать отдельно. В нашей структуре это возможно, и роль представлена её именем.

7. **Представление бинарной реляционной структуры данных в терминах RDM.** Такую структуру мы обозначили как RM^2 , где индекс 2 показывает наличие не более чем бинарных отношений. Схематическое представление бинарной реляционной структуры данных приведено в [2]. Поскольку мы будем пользоваться понятиями этой структуры, приведем их текстовое описание.

Отношение Concept

Относится к метамодельной части. Содержит в себе кортежи с именами концептов.

Атрибуты:

ConceptPK – primary key отношения
ConceptName – имя концепта.

Отношение Role

Относится к метамодельной части. Содержит в себе кортежи с именами ролей.

Атрибуты:

RolePK – primary key отношения.
RoleName – имя роли.

Отношение ConceptIndividual

Относится к модельной части. Содержит в себе кортежи с именами индивидов.

Атрибуты:

ConIndPK – primary key отношения.
ConIndName – имя индивида.

Отношение RoleIndividual

Относится к модельной части. Содержит в себе кортежи, которые представляют собой индивиды ролей. В явном виде таких экземпляров в DL нет, поэтому в нашей структуре это отношение определяется через foreign key на индивид R-последователя, foreign key на индивид R-преемника и primary key, определяющий конкретный экземпляр, соединяющий оба конкретных индивида.

Атрибуты:

RoleIndPK – primary key отношения.
DomainConIndFK – foreign key на индивид R-преемника.

RangeConIndFK – foreign key на индивид R-последователя.

Отношения LinkConceptIndividual и LinkRoleIndividual

Дополнительные отношения RM^2 . Поскольку один концепт может иметь множество индивидов, а один и тот же индивид может принадлежать нескольким концептам, то для разрешения связи многие-ко-многим мы вводим дополнительное отношение LinkConceptIndividual. Аналогично, отношение LinkRoleIndividual разрешает связь многие-ко-многим между ролями и индивидами, которые она связывает. Каждая роль имеет много экземпляров, связывающих два индивида. С другой стороны, каждая конкретная пара индивидов может быть связана несколькими ролями.

Атрибуты LinkConceptIndividual:

LinkConFK – foreign key на отношение Concept.

LinkConIndFK – foreign key на отношение ConceptIndividual.

Пара этих foreign key, по сути, являются primary key, в том смысле, что обладают ограничениями целостности UNIQUE, NOT NULL. Тем самым, мы утверждаем, что один и тот же индивид не может дважды принадлежать одному и тому же концепту.

Атрибуты LinkRoleIndividual:

LinkRoleFK – foreign key на отношение Role.

LinkRoleIndFK – foreign key на отношение RoleIndividual.

Аналогично атрибутам сущности LinkConceptIndividual, пара LinkRoleFK и LinkRoleIndFK также являются primary key сущности LinkRoleIndividual.

Для описания отображений нам также потребуются операции реляционной алгебры. Их полный перечень вместе с синтаксисом и семантикой приведены в [2].

Логика с операциями над ролями

В работе [3] мы рассматривали понятия *расширения дескриптивных логик*. Они формируются путем добавления к синтаксису стандартной логики (в нашем случае ALC) новых конструкторов для

построения концептов и ролей. Приведем основные выводы:

1) выделяют две категории расширений: «классические» и «не классические». Строго формального определения у этих категорий нет, есть лишь существенные отличия;

2) к «классическим» относятся такие расширения, чья семантика может быть интерпретирована с помощью теоретико-модельного подхода, в то время как определить семантику «не классических» конструкторов более проблематично, и требует расширения теоретико-модельного подхода;

3) «классические» расширения можно так же разделить на две условные категории: *расширения путем добавления конструкторов концептов* и *расширения путем добавления операций над ролями*. К первой категории относятся такие, которые добавляют к стандартному набору конструкторов концептов новые конструкторы, с помощью которых получают выражения, также являющиеся концептами. Ко второй категории относятся такие расширения, которые вводят в дескриптивную логику операции над ролями;

4) к категории *классических расширений путем добавления конструкторов концептов* относятся конструкторы: функциональность (F), количественное (N) и качественное (Q) ограничения, номиналы (O). Отображения логик ALCF, ALCN, ALCQ были рассмотрены в публикации [3].

В данной публикации мы описываем механизмы отображения логик, *расширенных путем добавления операций над ролями*, а также расширения для номиналов, которые были сознательно опущены в предыдущих работах. Но вначале необходимо дать определения, какие же операции над ролями могут расширять базовый синтаксис дескриптивных логик. Рассмотрим их.

Описание некоторых расширений для DL ALC

Напомним [10], что все выражения в семантике ALC интерпретируются индукцией по построению концепта, с помо-

щью интерпретирующей функции \cdot^I . Следуя этому правилу:

- каждому атомарному концепту $A \in CN$ соответствует произвольное подмножество $A^I \subseteq \Delta$;
- каждой атомарной роли $R \in RN$ соответствует произвольное подмножество $R^I \subseteq \Delta \times \Delta$;
- концепт истина (Thing) представляет собой всю область определения $T^I \subseteq \Delta$;
- концепт ложь (Nothing) представляет собой пустое множество.

В нашей структуре данные выражения будут интерпретироваться следующим образом:

- каждый концепт (атомарный и обычный) будут представлять собой экземпляр отношения Concept;
- каждая роль будет представлять собой экземпляр отношения Role;
- каждый индивид будет представлять собой экземпляр отношения ConceptIndividual;
- концепт истина (Thing) представляет собой отношение ConceptIndividual;
- концепт ложь (Nothing) останется пустым множеством.

Множество *составных* ролей Roles определяется индуктивно [10]:

- всякая атомарная роль $R \in RN$ является ролью;
- если R есть роль, то ролями являются выражения: R^- (обращение), $\neg R$ (дополнение или отрицание), R^+ (транзитивное замыкание), R^* (рефлексивно-транзитивное замыкание) роли R ;

- если R и S есть роли, то ролями являются выражения: $R \sqcap S$ (пересечение или конъюнкция), $R \sqcup S$ (объединение или дизъюнкция), $R \circ S$ (композиция) ролей R и S ;

- иногда рассматривают еще одну конструкцию: если C – произвольный концепт, то выражение $id(C)$ – это роль.

Любая интерпретация I единственным образом распространяется на все составные роли Roles индукцией по их построению.

Каждая логика формируется из ALC путем добавления в неё от одной до нескольких операций. Получающиеся логики именуют следующим образом: к названию логики L дописывают в скобках перечисление операций над ролями, например, $ALC(\sqcap, \circ)$ или $ALCIQ(\sqcup, *, id)$.

В следующем разделе рассматриваются отображения для логик, каждая из которых представляет собой расширение ALC одной из операций над ролью. Мы будем использовать обозначения таблицы с набором обозначений для описания отображений базовых конструкций ALC, которая была приведена в [2, 3].

Отображения логик с операциями над ролями

В данном разделе будут рассматриваться логики $ALC(-)$, $ALC(\sqcap)$, $ALC(\sqcup)$, $ALC(\circ)$, $ALC(id)$, $ALC(*)$, $ALC(+)$. Отображение для логики ALCI изложено в работе [3].

Для удобства изложения составим таблицу обозначений для описания отображений операций над ролями.

Применим эти обозначения к описанию семантики каждой из операций над ролями и рассмотрим создание отображений для вышеуказанных логик.

Отображение $ALC(-)$ в RDM

Семантика операции дополнения роли выглядит следующим образом:

$$(-R)_{DL}^I = \Delta \times \Delta \setminus R_{DL}^I.$$

Таблица. Набор обозначений для описания отображений

	R^-	$\neg R$	$R \sqcap S$	$R \sqcup S$	$R \circ S$	R^*	R^+	$id(C)$
ALC	$(R^-)_{DL}^I$	$(\neg R)_{DL}^I$	$(R \cap S)_{DL}^I$	$(R \cup S)_{DL}^I$	$(R \circ S)_{DL}^I$	$(R^*)_{DL}^I$	$(R^+)_{DL}^I$	$(id(C))_{DL}^I$
RM ²	$(R^-)_{RM^2}^E$	$(\neg R)_{RM^2}^E$	$(R \cap S)_{RM^2}^E$	$(R \cup S)_{RM^2}^E$	$(R \circ S)_{RM^2}^E$	$(R^*)_{RM^2}^E$	$(R^+)_{RM^2}^E$	$(id(C))_{RM^2}^E$

Как было сказано выше, Δ представляет собой отношение ConceptIndividual. Рассуждая логически, можно предположить, что $\Delta \times \Delta$ представляет собой отношение RoleIndividual. Однако, в самом отношении ConceptIndividual могут существовать такие экземпляры, которые не участвуют ни в одном из отношений. Поэтому, область $\Delta \times \Delta$ представляет собой соединение отношения ConceptIndividual с самим собой.

Исходя из вышеизложенного:

$$(\neg R)_{RM^2}^E = \Pi_{\text{ConIndName}}(\text{ConceptIndividual} \bowtie \text{ConceptIndividual}) - (R)_{RM^2}^E,$$

где описание $R_{RM^2}^E$ определено в работе [2].

Отображение ALC(Π) в RDM

Семантика операции пересечения ролей выглядит следующим образом:

$$(R \sqcap S)_{DL}^I = R_{DL}^I \cap S_{DL}^I$$

Опираясь на определения отображений, приведенные в [2]:

$$(R \sqcap S)_{RM^2}^E = R_{RM^2}^E \cap S_{RM^2}^E.$$

Отображение ALC(\sqcup) в RDM

Семантика операции объединения ролей выглядит следующим образом:

$$(R \sqcup S)_{DL}^I = R_{DL}^I \cup S_{DL}^I.$$

Опираясь на определения отображений, приведенные в [2]:

$$(R \sqcup S)_{RM^2}^E = R_{RM^2}^E \cup S_{RM^2}^E.$$

Отображение ALC(\circ) в RDM

Семантика операции композиции ролей выглядит следующим образом:

$$(R \circ S)_{DL}^I = \{ \langle e, d \rangle \in \Delta \times \Delta \mid \text{существует } x \in \Delta \text{ такой, что } \langle e, x \rangle \in R_{DL}^I \text{ и } \langle x, d \rangle \in S_{DL}^I \}.$$

Композиция – это, по сути, выражается в терминах реляционной алгебры, опе-

рация соединения, где 2-й атрибут 1-го отношения равен 1-му атрибуту 2-го отношения, с последующим проецированием по 1-му атрибуту 1-го отношения и 2-му атрибуту 2-го отношения. Исходя из этого, отображение для операции композиции выглядит следующим образом:

$$(R \circ S)_{RM^2}^E = \Pi_{R.\text{Domain}}, \\ S.\text{Range}(R_{RM^2}^E \bowtie_{R.\text{Range}=S.\text{Domain}} S_{RM^2}^E).$$

Отображение ALC(id) в RDM

Как было сказано выше, эта операция создает новые экземпляры ролей из индивидов заданного концепта. Семантика этой операции выглядит следующим образом:

$$(\text{id}(C))_{DL}^I = \{ \langle e, e \rangle \in \Delta \times \Delta \mid e \in C_{DL}^I \}.$$

Таким образом, результирующее отображение для конструкции $\text{id}(C)$ будет иметь вид:

$$(\text{id}(C))_{RM^2}^E = C_{RM^2}^E \bowtie_{\text{ConIndName}} = \\ = \neg \text{ConIndName } C_{RM^2}^E.$$

Отображение ALC(+ и ALC(*)) в RDM

Для наглядности определения семантики операций *транзитивного замыкания* (+) и *рефлексивно-транзитивного замыкания* (*) введем следующие обозначения [10]:

$$r^0 = \{ \langle e, e \rangle \mid e \in \Delta \},$$

$$r1 = r,$$

$$r2 = r \circ r,$$

$$r3 = r \circ r \circ r, \text{ и так далее,}$$

$$r+ = \bigcup_{n \geq 1} r^n,$$

$$r* = \bigcup_{n \geq 0} r^n.$$

Таким образом, две точки связаны отношением $r+$ (соответственно $r*$), если они связаны цепочкой r -ребер длины не менее 1 (соответственно, не менее 0).

Это означает, что операция транзитивного замыкания отображается путем выполнения от 1 до n операций компози-

ций над отображением $R_{RM^2}^E$, а операция рефлексивно-транзитивного замыкания отображается путем выполнения от 0 до n операций композиций над отображением $R_{RM^2}^E$.

В реляционной алгебре таких операций нет, поэтому в чистой РА они невыразимы. Однако, эта проблема решена в реляционных СУБД, поддерживающих рекурсивный SQL, где есть возможность применить транзитивное и рефлексивно-транзитивное замыкания. Подробнее об этом можно ознакомиться в работе [4]. Учитывая это мы вводим в бинарную реляционную модель данных две аналогичные операции: *транзитивное замыкание отношения* (R^+) и *рефлексивно-транзитивное замыкание отношения* (R^*).

Отображение ALCO в RDM

В данной работе мы рассмотрели отображения для всех наиболее востребованных операций над ролями (соответственно логики, расширенные этими операциями). В данной секции мы подробно остановимся на отображении **номиналов** – расширении, которое относится к первой группе «классических» расширений. Номиналы позволяют создать из существующего индивида (или нескольких индивидов) новый концепт.

Приведем следующее определение [10]:

(О) номиналы: если a есть имя индивида (т. е. $a \in IN$), то $\{a\}$ есть концепт.

Таким образом, если индивидуальное имя a интерпретировалось как элемент $a^I \in \Delta$, то номинал $\{a\}$ интерпретируется как одноэлементное множество $\{a^I\} \subseteq \Delta$. Это означает, что если в отношении ConceptIndividual существует некоторый экземпляр a , то операция $\{\}$ создает новый экземпляр отношения Concept, что представимо в любой реляционной СУБД. На этом основании мы вводим в бинарную реляционную модель данных ещё одну операцию $\{\}$, которая будет выполнять ту же функцию, что и номиналы в дескриптивной логике.

Её семантика (в DL) имеет следующий вид:

$$\{a\}_{DL}^I = \{a_{DL}^I\}.$$

Следовательно, отображение номиналов выглядит:

$$\{a\}_{RM^2}^E = \{a_{RM^2}^E\},$$

где $a_{RM^2}^E$ – экземпляр отношения ConceptIndividual интерпретирующий индивид a .

Выводы

В результате исследований, изложенных в данной работе, получен определенный результат в области интеграции семейств дескриптивных логик, в основе которых лежит DL ALC, в реляционную модель данных. Он охватывает создание бинарной реляционной структуры данных, описание механизмов отображения для базовых операций DL ALC, а также основных её расширений.

Данная работа была посвящена созданию отображений для расширений путем добавления операций над ролями, а также номиналам (логике ALCO). Показано, что для отображения некоторых операций над ролями необходимо расширить набор операций традиционной реляционной алгебры, поэтому такие новые операции выразимы в SQL.

Однако, есть много открытых вопросов:

- как отобразить аксиоматику дескриптивных логик в бинарную реляционную структуру данных;
- как отобразить n -арные расширения в бинарную реляционную структуру данных;
- как отобразить операции реляционной алгебры в конструкторы дескриптивной логики.

Интерпретация аксиоматики ALC в бинарной реляционной модели данных является объектом дальнейших исследований.

1. Чистякова И.С. Онтолого-ориентированная интеграция данных в семантическом вебе // Проблеми програмування. – 2014. – № 2. – 3. – С. 188–196.

2. Резниченко В.А., Чистякова И.С. Отображение дескриптивной логики ALC в бинарную реляционную структуру данных // Проблемы програмування. – 2015. – № 4. – С. 13–30.
3. Резниченко В.А., Чистякова И.С. Интеграция семейства расширенных дескриптивных логик с реляционной моделью данных // Проблемы програмування. – 2016. – № 2–3. – С. 38–47.
4. Резниченко В.А. Рекурсивный SQL // Инженерия програмного забезпечення. – 2010. – № 4. – С. 63–81.
5. Когаловский М.Р. Методы интеграции данных в информационных системах // Институт проблем рынка РАН. – 2010. – С. 74.
6. Lenzerini M. Data Integration: A Theoretical Perspective // Proc. of the 21st ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems (PODS 2002). N. Y.: ACM Press, 2002. – P. 233–246.
7. Vysniauskas E., Nemuraite L. Transforming ontology representation from OWL to relational database. Information Technology and Control. – 2006. – Vol. 35, N 3A. – P. 333–343.
8. Carmen Martinez-Cruz • Ignacio J. Blanco • M. Amparo Vila. Ontologies versus relational databases: are they so different? A comparison. Artif Intell Rev. – 2012. – 38. – P. 271–290.
9. Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., and Patel-Schneider P. F., editors. The Description Logic Handbook. Cambridge University Press, 2003.
10. Evgeny Zolin (2009) Description logics (lections). [Online] Available from: <http://pcs.math.msu.su/~zolin/dl/> [Accessed: 2009].
11. // Problems in programming. – 2016. – N 2–3, P. 38–47.
4. REZNICHENKO V.A. Recursive SQL // Software Engineering. – 2010. – N 4. – P. 63–81.
5. KOGALOVSKIJ M.R. Data integration methods in the informational systems // Market problems institute. – P. 74.
6. LENZERINI M. Data Integration: A Theoretical Perspective // Proc. of the 21st ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems. N. Y.: ACM Press, 2002. – P. 233–246.
7. VYSNIAUSKAS E. et al. Transforming ontology representation from OWL to relational database. Information Technology and Control. – 2006. – Vol. 35, N 3A. – P. 333–343.
8. MARTINEZ-CRUZ C. et al. Ontologies versus relational databases: are they so different? A comparison. Artificial Intelligence Review. – 2012. – N 38. – P. 271–290.
9. BAADER F. et al. The Description Logic Handbook. – 2003. – P. 47–65; p. 95.
10. EVGENY ZOLIN (2009) Description logics (lections). [Online] Available from: <http://pcs.math.msu.su/~zolin/dl/> [Accessed: 2009].

Получено 29.07.2016

References

1. CHYSTIAKOVA I.S. Ontology-oriented data integration on the Semantic Web // Problems in programming. – 2014. – N 2–3. – P. 188–196.
2. REZNICHENKO V.A. CHYSTIAKOVA I.S. Mapping of the Description Logics ALC into the Binary Relational Data Structure // Problems in programming. – 2015. N 4, P. 13–30.
3. REZNICHENKO V.A., CHYSTIAKOVA I.S. Integration of the family of extended description logics with relational data model

Об авторе:

Чистякова Инна Сергеевна,
 младший научный сотрудник.
 Количество научных публикаций в
 украинских изданиях – 9.
<http://orcid.org/0000-0001-7946-3611>.

Место работы автора:

Институт программных систем
 НАН Украины.
 03187, г. Киев,
 Проспект Академика Глушкова, 40.
 E-mail: inna_islyamova@ukr.net.
 Тел.: +38(066) 847 7784.