

УДК 004.82

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.39.4.009](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.39.4.009)

О подходе к обеспечению транзитивности свойств в веб-онтологиях

Т.Э. Шульга[✉], А.А. Сытник

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Саратов, Российская Федерация
taiss@yandex.ru*

Резюме. Статья посвящена проблемам представления знаний в виде веб-онтологий. Актуальность исследования обусловлена двумя факторами. С одной стороны, в рамках развития концепции семантического веба за последние годы создано большое число OWL-онтологий и RDF-наборов данных. С другой стороны, язык OWL имеет ряд ограничений, которые не всегда позволяют представить знания предметной области адекватно. Например, SPARQL-запросы, использующие транзитивные свойства языка OWL, могут создавать своего рода «петли» и возвращать некорректную информацию. В данной статье показано, что в некоторых случаях предпочтительно отказаться от использования транзитивности свойств в онтологии, и предложен алгоритм обхода связанных сущностей, позволяющий решить проблему «петель». В качестве примера, иллюстрирующего эту проблему, рассматривается веб-приложение «Направления подготовки высшего образования РФ». Приложение разработано на основе RDF-набора данных, который содержит информацию из официальных открытых документов Министерства образования и науки РФ за период с 2001 года до наших дней о научных специальностях, направлениях подготовки бакалавров, магистров и аспирантов, специальностях высшего образования РФ. Для установления соответствия между специальностями, действующими в РФ в разные годы, в RDF-наборе данных используется транзитивное свойство equalsTo. Хотя разработанный алгоритм сформулирован и использован в терминах конкретной предметной области для решения проблемы отдельного приложения, он достаточно универсален и может быть применен веб-разработчиками для решения проблемы транзитивности в RDF-наборах данных других предметных областей.

Ключевые слова: транзитивность объектных свойств, веб-онтология, OWL-онтология, RDF-набор данных, семантический веб, рекурсивный алгоритм, связанные специальности.

Для цитирования: Шульга Т.Э., Сытник А.А. О подходе к обеспечению транзитивности свойств в веб-онтологиях. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1265> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.39.4.009

On the approach to ensuring the property transitivity in web ontologies

T.E. Shulga[✉], A.A. Sytnik

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation
taiss@yandex.ru*

Abstract. The article focuses on the issues of knowledge representation in the form of web ontologies. The relevance of the study is due to the two factors. On the one hand, a large number of OWL ontologies and RDF datasets have been created as part of semantic web concept development in recent years. On the other hand, the OWL language has a number of limitations that do not always allow adequate representation of domain knowledge. For example, SPARQL queries that use the transitive properties of the OWL language can create some kind of "loops" and return incorrect information. This article demonstrates that in some cases it is preferable not to use the transitivity of properties in the ontology.

The algorithm for traversing related entities, which enables solving the problem of “loops”, is proposed. To illustrate the issue, we use "Higher educational programs of Russian Federation" web application. This application is developed on the basis of the RDF dataset which contains information about scientific specialties, bachelor's, master's and postgraduate programs obtained from publicly available official documents of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation since 2001. To set up a correspondence between the fields of studies that have existed over the years in the Russian Federation, equalsTo transitive property is employed in the RDF dataset. Although the developed algorithm is formulated and used in terms of a specific domain to solve the problem of a particular application, it is quite universal and can be applied by web developers to solve the problem of transitivity in RDF datasets of other domains.

Keywords: transitivity of OWL properties, web ontology, OWL ontology, RDF dataset, Semantic Web, recursive algorithm, linked fields of study.

For citation: Shulga T.E., Sytnik A.A. On the approach to ensuring the property transitivity in web ontologies. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1265> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.39.4.009 (In Russ.).

Введение

Последние десятилетия характеризуются бурным развитием инженерии знаний. Популярность концепции семантического веба [1], развиваемого консорциумом W3C, во многом определило и популярность веб-онтологий как современных формальных моделей представления знаний. Онтологии позволяют представлять знания предметной области в виде набора классов (типов объектов предметной области), свойств (связей между объектами предметной области) и аксиом (ограничений на совместное использование классов и свойств) [2]. Научные публикации последних лет представляют веб-онтологии и разработанные на их основе наборы данных для различных предметных областей (например, [3-8]). Также огромное количество данных в форматах семантического веба предоставлено в облаке связанных данных (LOD). Популярность веб-онтологий объясняется не только такими преимуществами онтологического моделирования как гибкость, расширяемость, открытость модели, но и наличием удобных в использовании и поддерживаемых инструментов разработки, в частности, языка OWL и модели данных RDF [1].

Язык OWL реализует основные требования к языкам онтологий [1]: «четко определенный синтаксис, формальная семантика, достаточная выразительная мощность, удобство выражения знаний и эффективная поддержка логического вывода». Поддержка логического вывода позволяет получать новые знания, используя уже имеющиеся, и выявлять различного рода противоречия в онтологиях, например, непредусмотренные отношения между классами или индивидами. Данный процесс возможен с помощью механизма аксиом (ограничений) – своего рода правил, которые действуют в данной онтологии. Именно аксиомы языка OWL позволяют представить «сложные» знания, например, задавать ограничения мощности значений (в группе не может быть более 20 студентов), или характеристики свойств, такие как транзитивность (если лекция1 входит в тему1, а тема1 входит в раздел1, то это значит, что лекция1 входит в раздел1).

В этой работе подробно рассмотрена такая аксиома языка OWL, как транзитивность свойств и проблема использования транзитивных свойств в RDF-наборах данных. Запросы, использующие транзитивные свойства, могут создавать своего рода «петли» и возвращать некорректную информацию. В данной статье это проблема описана и решена на примере конкретного RDF-набора данных, который содержит информацию из официальных открытых документов Министерства образования и науки РФ (за период с 2001 года до наших дней) о научных специальностях, направлениях подготовки бакалавров, магистров и аспирантов,

специальностях высшего образования РФ. Для установления соответствия между специальностями, действующими в РФ в разные годы, в RDF-наборе данных используется транзитивное свойство equalsTo. Мы предлагаем метод решения данной проблемы путем разработки и реализации алгоритма обхода связанных сущностей.

Материалы и методы

Согласно нотации языка OWL, свойство *P* называется транзитивным, если из совокупности фактов, что индивиды *A* и *B* связаны свойством *P* и индивиды *B* и *C* связаны свойством *P*, следует вывод, что индивиды *A* и *C* также связаны свойством *P*. Транзитивные свойства используются машинами логического вывода (ризонерами) для получения новых данных на основе уже имеющихся в RDF-наборе. Например, на основе утверждений «Анна является Потомком Николая» и «Николай является Потомком Александра», может быть сделан вывод о том, что «Анна является Потомком Александра».

Факт того, что транзитивные свойства являются композитными, может быть источником некоторых проблем, связанных с так называемыми «петлями», которые могут непредсказуемым образом образовываться в случае достаточно длинных цепочек транзитивности. Это означает, что в случае, если цепочка связи такого свойства нелинейна и представляет из себя некоторое подобие графа, то в данный момент не существует какого-либо механизма указания порядка его обхода или каких-либо ограничений на него, в виду чего SPARQL-запросы к ресурсам, связанным таким свойством, могут возвращать результаты, не соответствующие ожиданиям [9]. Ситуацию также осложняет тот факт, что, хотя в языке запросов SPARQL и существует механизм фильтрации, он применяется непосредственно к результатам, возвращенным запросом, и не может повлиять на цепочку самого логического вывода в процессе его выполнения. Так как результаты, возвращаемые запросом, являются простыми ресурсами, по ним нельзя получить никакой информации о порядке обхода транзитивного отношения, а значит, провести какую-либо их фильтрацию извне также не представляется возможным.

Более конкретно данную проблему можно проиллюстрировать на примере RDF-набора данных, разработанного коллективом студентов и сотрудников СГТУ имени Гагарина Ю.А. [10] на основе официальных открытых документов Министерства образования и науки РФ (за период с 2001 года по настоящее время) о научных специальностях, направлениях подготовки бакалавров, магистров и аспирантов, специальностях высшего образования РФ (далее, для краткости *специальностях*). Эти документы – приказы (например, [11]) и инструктивные письма, опубликованные в формате pdf) - содержат специальным образом оформленные перечни специальностей, которые «переутверждаются» по мере активного реформирования системы образования и науки РФ. Только с 2001 года по настоящее время сменилось четыре официальных перечня специальностей и существует несколько так называемых «переходников», устанавливающих соответствие между специальностями из различных перечней. Использование этих перечней и «переходников» образовательными организациями и гражданами обычно вызывает трудности из-за большого количества прекрасных ссылок. В то же время эффективный машинный анализ pdf-документов невозможен. Следовательно, встает вопрос о представлении этих данных в машинно-читаемых форматах, а именно, в формате открытых связанных данных, удовлетворяющих критериям 5 звезд по Тиму Бернесу-Ли, то есть с использованием открытых стандартов консорциума W3C (языков RDF, SPARQL) и на основе QWL-онтологий. Разработанный набор открытых связанных данных содержит выходные данные перечней, действующих

в РФ в период с 2001 года и по настоящее время, названия и коды специальностей и направлений, объединенных в укрупненные группы специальностей и направлений (УГСН) в различных перечнях, их соответствие. Доступ к набору данных может быть осуществлен через соответствующую SPARQL-точку доступа, а также через веб-приложение «Направления подготовки высшего образования РФ» [12].

Разработка набора данных осуществлялась с использованием OWL-онтологии «Специальности», которая подробно описана в [10] и опубликована в облаке открытых связанных словарей (Linked Open Vocabulary) [13]. Она может быть использована любыми разработчиками для создания любых веб-приложений в области высшего образования РФ, в которых требуются данные о бывших или ныне действующих перечнях специальностей и направлениях подготовки.

В данной работе нас интересует объектное свойство онтологии «Специальности» с названием equalsTo. Оно предназначено для того, чтобы отобразить соответствие специальности (экземпляра класса EducationalProgram) из одного перечня (экземпляра класса List) специальности из другого перечня. Другими словами, класс EducationalProgram является одновременно и доменом и диапазоном свойства equalsTo. Важно, что equalsTo описано в исходной онтологии как транзитивное и симметричное. Именно транзитивность данного свойства позволяет установить соответствия специальностей через смежные перечни.

Однако, при тестировании приложения «Направления подготовки высшего образования РФ», выяснилось, что SPARQL-запросы на получение списка «эквивалентных» специальностей возвращают корректные результаты, с точки зрения характеристик транзитивности свойства equalsTo в языке OWL, но некорректные, с точки зрения пользователя. В Таблице 1 приведен пример такого результата. При поиске соответствий для направления «Экономика» (бакалавра) с кодом «080100» из перечня ОКСО (действующего до 2011 года) в вывод попадают такие специальности, как «Зарубежное регионоведение», «Прикладная математика и информатика», что не является ожидаемым результатом для пользователя.

Таблица 1 – Фрагмент списка соответствий для направления «Экономика»

Table 1 – Fragment of the correspondence list for Economics degree

Направление подготовки	Код	Уровень	УГСН	Перечень	Период действия
Зарубежное регионоведение	41.03.01	бакалавриат	Политические науки и регионоведение	1061	2012-наши дни
Прикладная математика и информатика	010400	бакалавриат	Физико-математические науки	337	2011-2012
Бизнес-информатика	080500	бакалавриат	Экономика и менеджмент	337	2011-2012
Бизнес-информатика	38.03.05	бакалавриат	Экономика и менеджмент	1061	2012-наши дни
Прикладная информатика	230700	бакалавриат	Информатика и вычислительная техника	337	2011-2012

Эта проблема связана с тем, что подобные запросы отображает полный путь транзитивности свойства equalsTo и, следовательно, содержит своего рода «петли». В

данном случае под «петлей» подразумевается нелинейный ход транзитивности, а именно возможность перехода цепочки вывода к специальности из того же перечня, что и искомая специальность (в данном примере перечня ОКСО). В языке запросов SPARQL-запросах возможно поставить фильтр на его результат (что и сделано в приведенном примере). Именно поэтому в результатах запроса на поиск «эквивалентных» специальностей (Таблица 1) не отображаются специальности из перечня ОКСО. Однако, невозможно поставить фильтр в процессе выполнения цепочки вывода запроса, что не позволяет исключить многократные «проходы» в нашем примере через перечень ОКСО.

Результаты

Для решения рассмотренной проблемы мы предлагаем снять ограничение транзитивности на свойство equalsTo и использовать следующий рекурсивный алгоритм поиска специальностей, соответствующих данной, из перечней, действующих в другие годы.

Алгоритм обхода связанных сущностей в RDF-графе

Вход: код специальности P .

Выход: множество S соответствующих P специальностей из перечней, отличных от перечня, в котором содержится специальность S .

Шаг 1. Обозначить множество S как пустое.

Шаг 2. Получить код перечня L , в который входит специальность P .

Шаг 3. Получить множество специальностей S_{-} , связанных со специальностью P свойством equalsTo.

Шаг 6. Если специальность P входит в множество S_{-} , удалить ее из множества.

Шаг 5. Для каждой специальности P_i из множества S_{-} выполнить следующие шаги:

- a) получить код перечня L_i , в который входит специальность P_i ;
- b) если L_i совпадает с L , прекратить текущую итерацию цикла и перейти к следующей специальности P_{i+1} из множества S_{-} ;
- c) если множество специальностей S , содержит специальность P_i , прекратить текущую итерацию цикла и перейти к следующей специальности P_{i+1} из множества S_{-} ;
- d) добавить специальность P_i в множество специальностей S ;
- e) для специальности P_i выполнить шаги 3-5.

Тестирование предложенного алгоритма проводилось на небольшой онтологии «EducationalProgram», разработанной на основе онтологии «Специальности». Тестовая онтология «EducationalProgram» включает в себя два класса: специальность (EducationalProgram) и перечень, в который входит специальность (List).

Объектные свойства онтологии «EducationalProgram» представлены на Рисунке 1. Свойство listConsistOf предназначено для указания специальностей, входящих в конкретный перечень, свойство isPartOfList описывает принадлежность специальности к конкретному перечню, свойство equalsTo, не являющееся транзитивным, устанавливает соответствие между специальностями из различных перечней.

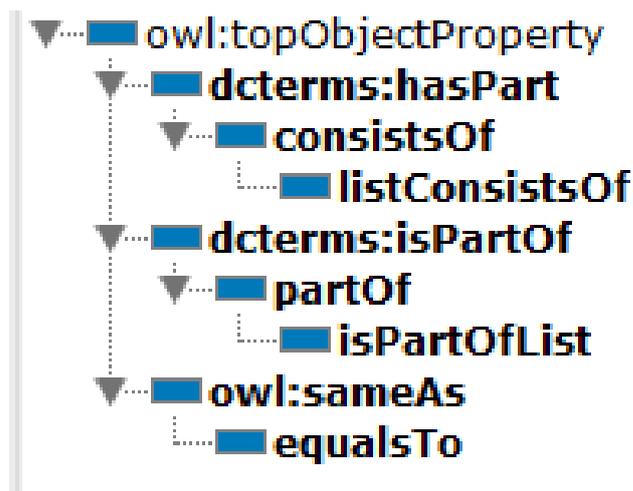


Рисунок 1 – Объектные свойства онтологии «EducationalProgram»
Figure 1 – Object properties of EducationalProgram ontology

На основе онтологии «EducationalProgram» был разработан RDF-набор данных об абстрактных специальностях. При этом для удобства тестирования в качестве названия специальности использовалась строка, содержащая собственно ее название, а также все названия специальностей, с которыми она связана непосредственно свойством equalsTo. На Рисунке 2 приведен пример экземпляра класса EducationalProgram.

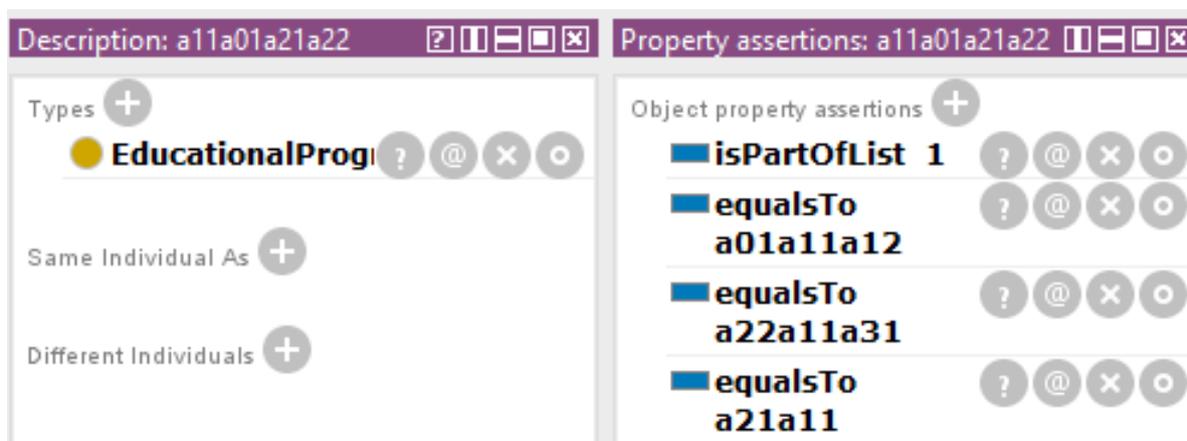


Рисунок 2 – Описание специальности a11a01a21a22
Figure 2 – Description of a11a01a21a22 field of study

Предложенный алгоритм поиска специальностей, соответствующих заданной, был реализован в виде консольного приложения, посылающего SPARQL-запросы к данным тестовой онтологии «EducationalProgram». Выбор языка Java для реализации данного приложения был обусловлен тем, что приложение «Направления подготовки высшего образования РФ» написано на данном языке, а значит, дальнейшая интеграция разработанного механизма будет наиболее простой.

Алгоритм получения списка соответствий для заданной специальности реализован в одном из классов приложения в виде рекурсивной функции recursiveTraversal обхода списка специальностей, связанных свойством equalsTo (Рисунок 3).

```

public static void recursiveTraversal(String speUri) {
    List<String> equalsSpecialities = QueryService.getEqualsSpecialities(speUri);

    for (String spe : equalsSpecialities) {
        if (spe.compareTo(speciality) != 0) {
            String speList = QueryService.getList(spe);
            if (speList.compareTo(list) == 0) {
                break;
            } else {
                if (!equalsSpecialitiesAsSet.contains(spe)) {
                    equalsSpecialitiesAsSet.add(spe);
                    recursiveTraversal(spe);
                }
            }
        }
    }
}

```

Рисунок 3 – Функция recursiveTraversal
Figure 3 – recursiveTraversal function

На Рисунке 4 приведен результат работы разработанного консольного приложения для специальности «a11a01a21a22». На нем видно, что в результате рекурсивного обхода связанных специальностей для заданной специальности получены все соответствующие ей специальности из различных перечней, в том числе и те, связь которых через свойство equalsTo с данным экземпляром непосредственно не устанавливалась.

```

Info for http://localhost:3030/speciality/a11a01a21a22
CountOfLists: 4
List: http://localhost:3030/speciality/lists/1
Result:
http://localhost:3030/speciality/a31a22
http://localhost:3030/speciality/a22a11a31
http://localhost:3030/speciality/a01a11a12
http://localhost:3030/speciality/a21a11

```

Рисунок 4 – Результат работы приложения
Figure 4 – Application output

Обсуждение

Внедрение предложенного алгоритма в приложение «Направления подготовки высшего образования РФ» позволило получить корректные результаты при выполнении запроса на поиск соответствий любых специальностей и направлений из любых

перечней. В частности, результаты SPARQL-запроса на поиск специальностей и направлений, соответствующих направлению «Экономика» (бакалавриат) с кодом «080100» из перечня ОКСО, действующего до 2011 года представлен в Таблице 2.

Таблица 2 – Список соответствий для специальности «Экономика» после реализации алгоритма
Table 2 – Correspondence list for Economics degree after the implementation of the algorithm

Направление подготовки	Код	Уровень	УГСН	Перечень	Период действия
Экономика	521600	бакалавриат	Гуманитарные и социально-экономические науки	686	2001-2004
Экономика	080100	бакалавриат	Экономика и менеджмент	337	2011-2012
Экономика	032200	бакалавриат	Экономика и менеджмент	1061	2012-наши дни

Заключение

Таким образом, мы исследовали проблему транзитивности свойств в RDF-наборах данных на конкретном примере. Для этого мы проанализировали работу приложения «Направления подготовки высшего образования РФ», осуществляющего SPARQL-запросы к RDF-набору данных, разработанному на основе «Специальности». В результате, была выявлена проблема в построении цепочки вывода транзитивного свойства equalsTo: запросы, использующие данное свойство, возвращали некорректный результат, содержащий «петли». Описанный в этой статье алгоритм получения соответствий является корректным и успешно внедрен в приложение «Направления подготовки высшего образования РФ» для решения проблемы транзитивности свойства equalsTo.

Следует отметить, что, хотя разработанный алгоритм сформулирован и использован в терминах конкретной предметной области для решения проблемы отдельного приложения, он универсален и может быть применен веб-разработчиками для решения проблемы транзитивности в RDF-наборах данных других предметных областей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Антониоу Г., Грос П., Хармелен ван Ф., Хоекстра Р. *Семантический веб*. М: ДМК Пресс; 2016. 240 с.
2. Linked Data Glossary. W3C Working Group Note 27 June 2013. Доступно по: <http://www.w3.org/TR/2013/NOTE-ld-glossary-20130627/#ontology> (дата обращения 01.11.2022).
3. Guarino N., Musen M. Applied ontology: The next decade begins *Applied Ontology*. 2015;10(1):1–4.
4. Верещак Г.А. Коробкин Д.М. Фоменков С.А. Фоменкова М.А. Колесников С.Г. Метод формирования онтологии предметной области «Патентное представление технических систем» для поиска инновационных технических решений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=853>. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.007 (дата обращения 01.11.2022).

5. Пономарев А.В. Онтология для описания приложений, использующих элементы крауд-вычислений. *Кибернетика и программирование*. 2018;3:25–37.
6. Сытник А.А., Шульга Т.Э., Данилов Н.А. Онтология предметной области «Удобство использования программного обеспечения». *Труды института системного программирования РАН*. 2018;30(2):195–214.
7. Shulga T., Sytnik, A., Kumova, S., Isaev, D. Web service for the dissertation opponents selection based on ontological approach. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019;2413:145–151.
8. Kelle Pereira, Crystiam & Siqueira, Sean & Pereira Nunes, Bernardo & Dietze, Stefan. Linked data in Education: a survey and a synthesis of actual research and future challenges. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2017:1–1. DOI: 10.1109/TLT.2017.2787659. Доступно по: https://www.researchgate.net/publication/322089442_Linked_Data_in_Education_A_Survey_and_a_Synthesis_of_Actual_Research_and_Future_Challengesv (дата обращения 01.11.2022).
9. Fionda, Valeria & Pirrò, Giuseppe & Consens, Mariano. (2019). Querying knowledge graphs with extended property paths. *Semantic Web*. 10:1–42. DOI 10.3233/SW-190365. Доступно по: <https://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj1899.pdf> (дата обращения 01.11.2022).
10. Сытник А.А., Шульга Т.Э., Шульга И.И. О проблемах представления данных высшего образования и науки Российской Федерации с использованием технологий семантического веба. *Информатизация образования и науки*. 2020;2(46):15–29.
11. Приказ Министерства Образования Российской Федерации от 4 декабря 2003 г. N 4482 «О применении общероссийского классификатора специальностей по образованию» Доступно по: https://www.vyatsu.ru/uploads/file/1403/prikaz_minobrazovaniya_rossii_perehodnik_0kso.pdf (дата обращения 01.11.2022).
12. Шульга Т.Э., Пантелеева Е.Е. Приложение «Направления подготовки высшего образования РФ». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020663366 от 10.11.2020.
13. Онтология «Специальности» в открытом словаре связанных данных LOV. Доступно по: <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/vocabs/losp> (дата обращения 01.11.2022).

REFERENCES

1. Antoniou, Grigoris, Groth, Paul, van Harmelen, Frank van. *A Semantic Web Primer* (Cooperative Information Systems series). Moscow. MIT Press; 2012. 240 p. (In Russ.).
2. Linked Data Glossary. W3C Working Group Note 27 June 2013. Available by: <http://www.w3.org/TR/2013/NOTE-ld-glossary-20130627/#ontology> (accessed on 01.11.2022).
3. Guarino, N., Musen, M. Applied ontology: The next decade begins *Applied Ontology*. 2015;10(1):1–4.
4. Vereshhak G.A. Korobkin D.M. Fomenkov S.A. Fomenkova M.A. Kolesnikov S.G. Metod formirovaniya ontologii predmetnoj oblasti «Patentnoe predstavlenie tehniceskikh sistem» dlja poiska innovacionnyh tehniceskikh reshenij. *Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(4). Available by: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=853/> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.007 (accessed on 01.11.2022). (In Russ.).

5. Ponomarev A.V. Ontologija dlja opisanija prilozhenij, ispol'zujushhij jelementy kraudvychislenij. *Kibernetika i programmirovanije*. 2018; 3:25-37. (In Russ.).
6. Sytnik A.A., Shulga T.E., Danilov N.A. Ontologija predmetnoj oblasti "Udobstvo ispol'zovanija programmogo obespechenija". *Trudy instituta sistemnogo programmirovanija RAN = Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*. 2018;30(2):195–214. (In Russ.).
7. Shulga T., Sytnik, A., Kumova, S., Isaev, D. Web service for the dissertation opponents selection based on ontological approach. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019;2413:145–151.
8. Kelle Pereira, Crystiam & Siqueira, Sean & Pereira Nunes, Bernardo & Dietze, Stefan. Linked data in Education: a survey and a synthesis of actual research and future challenges. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2017:1–1. DOI: 10.1109/TLT.2017.2787659. Доступно по: https://www.researchgate.net/publication/322089442_Linked_Data_in_Education_A_Survey_and_a_Synthesis_of_Actual_Research_and_Future_Challengesv (дата обращения 01.11.2022).
9. Fionda, Valeria & Pirrò, Giuseppe & Consens, Mariano. (2019). Querying knowledge graphs with extended property paths. *Semantic Web*. 10:1–42. DOI 10.3233/SW-190365. Доступно по: <https://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj1899.pdf> (дата обращения 01.11.2022).
10. Sytnik A.A., Shulga T.E., Shulga I.I. O problemah predstavlenija dannyh vysshego obrazovanija i nauki Rossijskoj Federacii s ispol'zovaniem tehnologij semanticheskogo veba. *Informatizacija obrazovanija i nauki*. 2020;2(46):15–29. (In Russ.).
11. Prikaz Ministerstva Obrazovanija Rossijskoj Federacii ot 4 dekabrya 2003 g. N 4482 «O primenenii obshherossijskogo klassifikatora special'nostej po obrazovaniju». Available by: https://www.vyatsu.ru/uploads/file/1403/prikaz_minobrazovaniya_rossii_perehodnik_o_kso.pdf (accessed on 01.11.2022). (In Russ.).
12. Shuga T.E., Panteleeva E.E. Prilozhenie «Napravlenija podgotovki vysshego obrazovanija RF». Svidetel'stvo o registracii programmy dlja JeVM №2020663366 ot 10.11.2020. (In Russ.).
13. Ontology «Specialties» in the open dictionary of related data LOV. Available by: <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/vocabs/losp> (accessed on 01.01.2022). (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шульга Татьяна Эриковна, доктор физико-математических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Российская Федерация.

e-mail: taiss@yandex.ru

ORCID: [0000-0002-5521-5960](https://orcid.org/0000-0002-5521-5960)

Tatiana Erikovna Shulga, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation.

Сытник Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Российская Федерация.

e-mail: as@sstu.ru

ORCID: [0000-0002-1256-7253](https://orcid.org/0000-0002-1256-7253)

Aleksandr Aleksandrovich Sytnik, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chairman, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 02.11.2022; одобрена после рецензирования 29.11.2022;
принята к публикации 08.12.2022.*

*The article was submitted 02.11.2022; approved after reviewing 29.11.2022;
accepted for publication 08.12.2022.*