

УДК 004.91

DOI 10.25559/SITITO.2017.4.523

Дацун Н.Н.¹, Уразаева Л.Ю.²¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД АНАЛИЗА И СОЗДАНИЯ КУРРИКУЛ ПО ПЕРСПЕКТИВНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ ПОДГОТОВКИ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Аннотация

ИТ-направление подготовки «Вычислительная наука» является востребованным, но не имеет унифицированного учебного плана, одобренного ИТ-сообществом. Области применения онтологий в образовании и ИТ-образовании были изучены на основе публикаций в наукометрических базах данных. Онтология «Curricula» верхнего уровня была определена. Онтологический подход был применен для анализа четырех актуальных разработанных куррикул уровня «бакалавр» в «Вычислительной науке». В результате интеграции онтологий инварианты и вариативные части курсов для ядра, продвинутых и элективных курсов учебного плана по «Вычислительной науке» уровня «бакалавр» были выявлены. Это позволило обнаружить разделение на профильную подготовку по этому направлению и дополнительные профили. Онтологический подход показал взаимодополняющие тренды с углублением математической составляющей в прикладной области.

Ключевые слова

Учебные планы; ИТ-направления подготовки; вычислительная наука; онтологический подход.

Datsun N.N.¹, Urazaeva L.Ju.²¹ Perm State University, Perm, Russia² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

ONTOLOGICAL APPROACH TO ANALYSIS AND CREATION OF CURRICULUM ON PERSPECTIVE IT-SPECIALIZATION

Abstract

IT-specialization «Computational Science» is in demand, but does not have a unified Curriculum, approved by the IT-community. The domains of application of ontologies in education and IT education were studied on the basis of publications in scientometric databases. The ontology of the «Curricula» of the upper level was defined. The ontological approach was applied to analyze the four actual existing Curricula of level «bachelor» in «Computational Science». As a result of the integration of these ontologies, invariants and alternative parts of the courses for the core, advanced and elective courses of the «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree» were identified. This allowed to detect the division into profile learning and additional profiles. The ontological approach showed complementary trends with a deepening of the mathematical component in the applied field.

Keywords

Curricula; IT specialization; Computational Science; ontological approach.

Введение

Создание учебных планов (Curricula) является кропотливым и трудозатратным процессом. Включение в куррикул разделов из смежных наук и областей человеческой деятельности значительно усложняет эту задачу.

Однако процесс построения Curricula базируется на принципах, схожих с созданием онтологии. Поэтому фраза «Куррикула как онтология» из названия статьи [1] подчеркивает близкую природу Curricula и онтологии. Применение онтологического подхода в предметной области

«Curricula» позволяет решать многообразные задачи, главной из которых является создание концептуальной основы для работы над учебным планом специалистов разных профилей. В данной работе предлагается применить онтологический подход для анализа действующих учебных планов университетов, ведущих подготовку по востребованному направлению ИТ-подготовки, которое не имеет унифицированной Curricula, с целью изучения возможности создания таковой.

В разделе «Цель исследования» сформулированы цель исследования, исследовательская гипотеза и исследовательские вопросы. Материалы и методы исследования описаны в одноименном разделе. В разделе «Результаты» представлены ответы на исследовательские вопросы. Выводы, ограничения и направления будущих исследований представлены в разделе «Заключение».

Цель исследования

Целью работы является исследование возможности применения онтологического подхода для создания концептуальной основы унификации действующих университетских учебных планов для ИТ-направления подготовки, не имеющего Curricula, признанного ИТ-сообществом.

Для достижения этой цели была сформулирована исследовательская гипотеза и исследовательские вопросы.

Исследовательская гипотеза Г1. Применение онтологического подхода возможно для концептуализации и унификации учебных планов такого направления ИТ-подготовки, для которого отсутствует Curricula, разработанный и принятый ACM и IEEE.

Исследовательские вопросы:

1. ИВ1: Определение направления ИТ-подготовки, не имеющего унифицированного учебного плана.

2. ИВ2: Области применения онтологий в образовании и ИТ-образовании.

3. ИВ3: Применение онтологий при создании, совершенствовании и использовании учебных планов.

4. ИВ4: Создание онтологий существующих учебных планов уровня бакалавриата ИТ-направления подготовки с целью их анализа и исследование возможности создания онтологии унифицированного плана.

Материалы и методы исследования

При проверке исследовательской гипотезы Г1 первоначально исследованы существующие актуальные Curricula для ИТ-направлений подготовки с целью выявления направления, не имеющего унифицированного учебного плана. Далее применена методика систематического поиска литературы, которая рекомендована для исследования публикаций по программной инженерии [2, 3]. Для ответа на исследовательские вопросы ИВ2-ИВ3 выполнен качественный анализ аннотаций и/или полнотекстовых документов научных публикаций. В текстах отобранных публикаций были найдены фрагменты описания онтологий, по которым была выполнена концептуализация предметной области «Учебный план (Curricula)» и ее формализация средствами Protégé с целью поиска онтологии, которая может быть использована в качестве онтологии верхнего уровня для ответа на ИВ4.

Для ответа ИВ4 выполнен анализ открытых публикаций по существующим программам обучения направления подготовки «Computational Science» уровней бакалавр – магистрант – аспирант с целью поиска источников информации об учебных планах CS. На следующем этапе были проанализирован список университетов на сайте «Society for Industrial and Applied Mathematics» (SIAM)⁵, который предоставляет информацию об учебных планах уровня «бакалавр». Из этого списка были выбраны сайты четырех университетов, которые имеют актуальную информацию об учебных планах для «Computational Science». На основе отобранных учебных планов была выполнена концептуализация области «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree» и ее формализация средствами Protégé. Полученные онтологии были интегрированы с целью приведения к каноническому виду для согласования групп дисциплин и выделения ядра учебного плана уровня подготовки «бакалавр».

Результаты

ИВ1: Определение направления ИТ-подготовки, не имеющего унифицированного учебного плана. Академическое сообщество и сообщество ИТ-индустрии уделяют серьезное внимание подготовке ИТ-специалистов в сфере университетского образования. Разработка рекомендаций типовых учебных планов (Curricula) с последующей их адаптацией и использованием учебными заведениями

⁵ <http://www.siam.org>

помогает решать несколько задач: способствование сквозному согласованию изучаемых дисциплин на всех уровнях университетского обучения от бакалавров до магистрантов, определенная возможность академической мобильности обучающихся и значительное упрощение процедуры аккредитации.

Для ответа на ИВ1 были проанализированы учебные планы ИТ-направлений подготовки, которые являются результатами успешного долгосрочного сотрудничества вузов и ИТ-индустрии. Этот корпус Curriculum, разработанный ACM и IEEE, регулярно пересматривается и гармонизируется. Был выполнен анализ унифицированных учебных планов уровней «бакалавр» и «магистр».

Для уровня «бакалавр» это учебные планы по таким ИТ-направлениям:

1. Computing Curricula 2005 [4] для Компьютерной инженерии, Компьютерных наук, Информационных систем, Информационных технологий, Программной инженерии;
2. Information Technology 2008 [5] для Информационных технологий;
3. IS 2010 [6] для Информационных систем;
4. Computer Science Curricula 2013 [7] для Компьютерных наук;
5. Software Engineering 2014 [8] для Программной инженерии;
6. Computer Engineering Curricula 2016 [9] для Компьютерной инженерии.

Учебный план по программной инженерии существует также и для уровня «магистр» – GSwE2009 [10]. Кроме этого, свод знаний (SWEBOOK) был сформулирован для этого направления ИТ-направления [11].

Вычислительная наука («Computational Science», CS) гораздо моложе остальных направлений ИТ-подготовки. Однако учебный план по Computational Science, согласованный на уровне законодателей учебных стандартов (ACM, IEEE и др.) пока не существует.

Традиционно концептуализация новых самостоятельных направлений ИТ-подготовки начинается с оформления соответствующей области знаний в наиболее общем учебном плане – Computer Science Curricula. В актуальной версии Computer Science Curricula 2013 выделены новые области знаний: «Parallel and Distributed Computing Knowledge Area» и «Computational Science» [7]. При этом в области

знаний «Computational Science» акцент сделан на интердисциплинарность обучения. Поэтому в перспективе учебный план для направления подготовки Computational Science должен обязательно иметь блок дисциплин прикладных областей с учетом специализации в определенной отрасли деятельности.

SIAM предлагает студентам программы по «Computational Science» (уровень бакалавриата – 12 программ, магистратуры и/или докторантуры – 61 программа) и по Computational Finance (6 программ). Для уровня магистратуры существует документ «SIAM Guidelines for a Professional Master's Degree»⁶, описывающий Course Curriculum. Однако для уровня бакалавриата подобного документа нет.

Таким образом, в отличие от других ИТ-направлений подготовки, унификация учебных планов по «Computational Science» еще только ожидает своего решения. Целью данной работы является концептуализация «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree», для чего в данной работе будет применен онтологический подход.

ИВ2: Области применения онтологий в образовании и ИТ-образовании

Методика систематического поиска литературы была применена для отбора научных публикаций по тематике «Онтологии в образовании» и «Онтологии в ИТ-образовании» (поисковые строки: «ontology» AND «education»; «ontology» AND «IT education»). Корпус публикаций был сформирован на основе информации наукометрических баз данных и хранилищ: Web of Science⁷, Scopus⁸, e-Library⁹, ScienceDirect¹⁰, Springer Link¹¹, IEEE Xplore¹², ACM Digital Library¹³, CiteSeerX¹⁴. Для ответа на ИВ2 были отобраны 26 работ [12-37].

Самое известное и популярное определение понятия «Онтология» принадлежит Т. Gruber: «...Онтология – это явная спецификация концептуализации» [38: 199]. Онтология является формальной структурой, которая обеспечивает общее понимание определенного домена. В общем случае онтология состоит из классов, отношений, и аксиом; таксономии, экземпляры и атрибуты дополняют ее. Онтология представляет семантику домена явно. Это позволяет организовать интеллектуальный доступ к информации [12].

Онтологии используют в интеллектуальных системах во время разработки и во время

⁶ <http://www.siam.org/students/resources/guidelines.php>

⁷ <https://webofknowledge.com/>

⁸ <https://www.scopus.com/>

⁹ <http://elibrary.ru>

¹⁰ <http://www.sciencedirect.com/>

¹¹ <https://www.springer.com/>

¹² <http://ieeexplore.ieee.org/>

¹³ <http://dl.acm.org/>

¹⁴ <http://citeseer.ist.psu.edu/>

выполнения. В управляемой онтологией разработке онтологический подход используется для автоматизации разработки контекстно-зависимых и адаптивных приложений. В управляемых онтологией системах онтологии используются как внешние базы знаний, над которыми компонент рассуждения может провести логический вывод. Использование онтологии позволяет отделить логику приложения от кода, адаптируя рассуждения к разнообразным контекстам и поведению [13].

Содержимое онтологии понятно не только пользователю, но компьютерным программам. Это становится возможным при структурировании знаний домена с соблюдением общепринятых форматов представления онтологий. Поэтому использование онтологий облегчает разработку приложения и привлечение пользователей как во время разработки, так и во время выполнения [13].

Онтологический подход широко применяется для решения различных классов задач. Организация и представление знаний в домене образования на основе Web обычно затрагивает несколько смежных областей. [14]. Поэтому использование онтологий является оправданным при автоматизации образовательной деятельности. При этом онтологии играют две основные роли в исследованиях: построение онтологий для образования и использование онтологий в образовании. [15].

Онтологии для образования применяются образовательными организациями на организационном уровне и на уровне образовательного процесса.

Организационный уровень.

Онтологический подход обеспечил интеграцию информации из нескольких независимых и разнородных источников для глобального представления о процессе образования аспирантам на портале Министерства высшего образования [16]. Онтологии использованы в системе оценки эффективности деятельности профессорско-преподавательского состава при концептуализации качественных факторов [17] и для оценки обучения и системы интегрированной обучающей среды [18]. Онтология электронного обучения и онтология теста используются для оценивания качества образовательных материалов и сложности / понятности терминологии курса [19]. Согласование требований рынка труда ИТ-индустрии (предпосылки компетентности рабочих мест) и системы образования (знания,

умения и навыки в области профессионального образования и обучения) выполнено с помощью онтологии [20].

Уровень образовательного процесса. Здесь можно выделить два основных направления применения онтологий: образовательные онтологии и авторская разработка образовательных ресурсов (authoring) [21].

Образовательные онтологии обычно необходимы двух видов: онтология предметной области и онтология для курса обучения. Первая обеспечивает формальное определение понятий для представления знаний о предметной области, вторая определяет формальные правила для представления понятия с учетом контента курса [21]. Например, онтология концептов для программной инженерии для была создана в процессе педагогического и структурного анализа курсов этого направления ИТ-подготовки [22].

Авторская разработка образовательных ресурсов. С одной стороны, тегирование этих ресурсов (открытых и доступных в локальных сетях образовательных учреждений) облегчает автоматическое обнаружение новой информации и повышает точность поиска [21]. С другой стороны, подход фольксономии помогает в решении проблемы адаптации контекста преподавания [23]. Например, использование техники обработки естественного языка, онтологии и эвристических рассуждений по темам дисциплины «Объектно-ориентированное Программирование» обеспечивают автоматизацию построения объектов обучения для электронных учебников [24].

Онтологии для образования были использованы в нескольких ИТ-направлениях подготовки при авторской разработке образовательных ресурсов:

1. Компьютерные науки – для семантического поиска в Web релевантных материалов программирования [25] и для рекомендации открытых образовательных ресурсов для курсов CS1 и CS2 путем обогащения семантическим индексированием [26];

2. Программная инженерия. – для поиска имени темы на основе содержимого документа в системе управления учебным контентом [27] и для повторного использования одного и того же элемента несколько раз во многих опытах в виртуальных онлайн лабораториях по программированию [28];

3. Информационные системы и информационные технологии. – для построения модели учебного процесса с необходимыми электронными ресурсами с автоматизацией

процесса разработки областей знаний учебных онтологий на основе федеральных государственных образовательных стандартов и учебных планов соответствующего направления подготовки [29].

Самостоятельное направление применения онтологий для образования в авторской разработке образовательных ресурсов представляет автоматизация генерации и оценки тестовых вопросов. Онтологии этого вида были использованы в ИТ-образовании:

1. Компьютерные науки – для автоматического оценивания ответов вопросов открытой формы с целью оценки приобретенных процедурных знаний [30];

2. Программная инженерия – для автоматической генерации тестов и оценки тестовых вопросов [31];

3. Курс объектно-ориентированного программирования – для формализации структуры вопроса нового типа «Найти ошибку в программе и исправить ее» [32].

Большинство научных работ исследуют возможности онтологического подхода на уровне образовательного процесса для персонализации обучения. Здесь можно выделить два аспекта: персонализация образовательных материалов (ресурсов) и персональный мониторинг обучающихся.

Персонализация образовательных материалов. Моделирование учащихся и их потребностей с помощью онтологий выполнено для обучающихся с особыми потребностями [33] и конечных пользователей среди взрослого населения при обучении знаниям программной инженерии [34]. Онтология была использована как средство для разработки дополнительных индивидуальных образовательных материалов [35]. Три различные онтологии (Competence Ontology, Domain Ontology и Instructional Role Ontology) использованы для моделирования компетенций и образовательных ресурсов в подходе, чтобы генерировать динамически объекты знания обучения, основанные на модели компетенции [36].

Персональный мониторинг обучающихся поддерживает онтология взаимосвязи между навыками и стилем обучения учащихся с целью представлять рекомендации для академического продвижения и генерировать предупреждения, когда студенты имеют проблемы в учебном процессе [37].

Отличительной особенностью онтологического подхода является то, что исходные данные могут быть как структурированными, так и слабо структурированными и неструктурированными.

Это положение иллюстрируют примеры применения онтологий для образования, рассмотренные выше в этом разделе.

ИВЗ: Применение онтологий при создании, совершенствовании и использовании учебных планов

Систематический поиск литературы был применен для анализа существующего опыта применения онтологий для создания, управления и оценки учебных планов и программ, которые используются в процессе обучения и аккредитации. Поиск выполнен по тематике «Онтологии и учебный план» (поисковые строки: «ontology» AND «Curriculum»; «ontology» AND «Curricula»). Отобраны 11 публикаций [13, 14, 21, 39-46].

Национальный учебный план Великобритании формально описан в онтологии учебного плана. Она поддерживает контент и основы навигации по сайту «Knowledge and Learning website Beta», чтобы организовать доступ к коллекции образовательных ресурсов BBC [39].

Онтологический подход использован для компетентностной разработки учебных планов. Такое проектирование направлено на согласование, с одной стороны, требований представителей отраслей промышленности и, с другой стороны, представлений о целях учебного процесса в академическом сообществе. Также использование онтологии позволяет устранить существующий разрыв: проектировщики учебных планов имеют недостаточный опыт выбора стратегий для достижения знаний обучающихся, а преподаватели выбирают методы, менее пригодные для достижения компетентности [40].

Концептуальная модель учебного плана поддерживает систему образовательного сервиса с использованием онтологического подхода и облегчает общение между различными заинтересованными сторонами [41].

Онтология «Accreditation Board of Engineering and Technology» (ABET) рассматривает учебный план с точки зрения потенциального работодателя выпускника учебного заведения любых аккредитованных программ. Учебный план представляет собой шаблон для сопоставления результатов курса обучения и результата конкретного студента [21].

Methontology была выбрана в качестве методологии для разработки онтологии учебного плана электротехники. Она связана с онтологией инженерных знаний, онтологией

CDIO¹⁵ навыков и онтологией нормативных актов [42].

Онтологический подход использован для управления ресурсами учебного плана: онтология описывает ресурс учебного плана и обеспечивает их быстрый поиск [43].

В модели онтологии, которая применена при создании и мониторинге учебного плана, используются пять уровней иерархии. Модель применима для создания учебных планов на различных уровнях: A2U (Администрация – Университет), U2U (Университет – Университет) и U2S (Университет – Студент). Это позволяет автоматизировать процесс сравнительного анализа учебных планов университетов разных стран, поддерживать программы обмена студентами, проводить аккредитации программ и т.д. [44].

В ИТ-образовании онтологиям учебных планов находят разнообразное применение. Онтологический подход был применен для поддержки работы пользователей в построении персонального учебного плана. Он был опробован на примере подмножества курсов компьютерных наук и инженерии. Онтология учебного плана применяется для планирования: пользователь выражает цель обучения как совокупность элементов знаний, которые он хочет приобрести, и последовательность учебных ресурсов выстраивается для достижения этой цели. Также онтология учебного плана применяется для решения обратной задачи: проверить, позволяет ли имеющийся учебный план достичь желаемой цели обучения [45].

Управляемый онтологией подход использован для совершенствования учебных планов профессионального ИТ-образования. Модель учебного плана в созданной онтологии не только опирается на международные стандарты ИКТ-компетентности, но учитывает потребности рынка труда [46].

Вопросы адаптивности исследовались при интеграции и учитывались при создании онтологий для каждого из трех доменов исследований: учебно-методической науки, методологии и компьютерных наук. В домене методологии термин «адаптивный» применяется к учебному плану, упорядочивающему адаптивные и всепроникающие среды обучения путем сопоставления уровня сложности элемента с уровнем знаний обучающегося [13].

Онтологический подход применяется для устранения разрыва, существующего в

большинстве современных онлайн-курсов: знания по-прежнему структурируют в соответствии с разделами, при этом преимущества онлайн-среды обучения используются не в полной мере. Онтология WorldNet была использована как онтология верхнего уровня на этапе проектирования для организации и представления знаний учебного программы «Организация ЭВМ». Ее понятия и отношения были расширены и пересмотрены для многократного использования в онтологии учебного плана. На этапе выполнения база данных, основанная на онтологии, обеспечивает организацию и отображение знания в приложениях [14].

Из корпуса публикаций, отобранных для ответа на ИВ3, были отобраны работы с описанием онтологий учебных планов. Анализ этих онтологий показал, что каждая из них ориентирована на отдельные аспекты предметной области «Curricula»:

1. Основной/дополнительный образовательный профиль, академическая степень и статус персоны-участника образовательного процесса (Bowlogna ontology) [47];
2. Уровень образования и список изучаемых предметов (BBC «Curriculum Ontology») [39], элементы которого принадлежат классу TopicofStudy из концепта AlignmentObject¹⁶ (рис. 1, в) онтологии верхнего уровня Learning Resource Metadata Initiative (LRMI)¹⁷;
3. Уровень образования, список изучаемых предметов и отношения последовательности учебных объектов [48];
4. Концепт «Course» и его дизъюнктивное разбиение на подклассы с учетом образовательного профиля [49];
5. Концепты «KnowledgeGrouping» из онтологии «Academic Institution Internal Structure Ontology» (AIISO) [50];
6. Уровень образования, количество кредитов ECTS, распределение учебных часов, контент предмета [44].

Таким образом, на роль онтологии верхнего уровня для ответа на ИВ4 нашего исследования может претендовать только онтология из работы [44].

ИВ4: Создание онтологий существующих учебных планов уровня бакалавриата ИТ-направления подготовки с целью их анализа и исследование возможности создания онтологии унифицированного плана

¹⁵ <http://www.cdio.org/>

¹⁶ <http://schema.org/AlignmentObject>

¹⁷ <http://www.lrmi.net/the-specification>

Примеры существующих учебных планов направления подготовки «Computational Science» были нами выявлены в потоке научных публикаций и открытом доступе в Интернет.

Структура и модель планов по «Computational Science» в University of Hradec Kralove рассмотрены в статье [51]. Для студентов доступны образовательные программы трех уровней – бакалавриата, магистратуры и докторантуры. Пять учебных программ существует в трех предметных областях. Авторы классифицировали три учебные программы как относящиеся к Вычислительной науке. Пять групп предметов этих программ (Data Engineering, Computer Networks, Software Engineering, Company Computer, Knowledge Technologies), а также уровень владения профессиональным английским языком (Professional English) были проанализированы с точки зрения требований работодателей.

Проблема нехватки высококвалифицированных специалистов для выполнения исследований по CS раскрыта в работе [52]. Программы уровня магистрантов и аспирантов существуют в нескольких регионах мира: в Евросоюзе (ETH, Switzerland; KTH, Sweden; University of Amsterdam, Netherlands), в США (George Mason University; Georgia Tech; Rice University; Stanford University; University of California San Diego; University of Illinois), в Канаде (University of Toronto; University of Waterloo), в Австралии (University of Queensland, Australia), в Южной Кореи (School of Computational Sciences, Korea Institute for Advanced Study, South Korea), в Сингапуре (National University of Singapore). Но таких программ недостаточно, их количество сокращается. Кроме того, выпускники указанных программ не имеют необходимой глубины знаний в предметных областях, кросс-дисциплинарных и мультикультурных навыков.

Существующие программы в области Вычислительной науки уровней бакалавров, магистрантов и аспирантов, которые предлагаются в шести университетах провинции Онтарио Канады, обсуждаются в статье [53]. Программа бакалавра Computational Science в School of Computer Science (University of Guelph) доступна с 2001 г. Пять университетов предлагают различные варианты мультидисциплинарных программ для магистрантов:

1. Степень MSc в области Computational Science в кооперации с кафедрами

информатики, биологии, химии, инженерии и торговли (Laurentian University);

2. Степень MSc или MA в области прикладного моделирования и количественных методов (Trent University);
3. Степень MSc или MASc для сотрудничества в области Вычислительной науки и инженерии с целью применения высокопроизводительных вычислений для прикладных дисциплин (application discipline, AD) (Queens University);
4. Степень MSc в области моделирования и Вычислительной науки (University of Ontario Institute of Technology);
5. Степень MSc, MASc или MEng, которые стремятся соединить области информатики, прикладной математики, физики и химии (McMaster University).

Три университета провинции Онтарио предлагают программы аспирантуры:

1. В одной междисциплинарной области на пересечении CS и AD (University of Guelph);
2. В области моделирования и вычислительных наук (University of Ontario Institute of Technology);
3. В области научных вычислений и вычислительных физических наук (McMaster University).

Существует программа уровня магистрантов с двойным дипломом в области Вычислительной науки (Университет ИТМО, Россия и University of Amsterdam, Нидерланды), учебный план которой обсуждается в статье [54].

SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics) предлагает студентам ¹⁸ программы по «Computational Science» (уровень бакалавриата – 12 программ, магистратуры и/или докторантуры – 61 программа) и по Computational Finance (6 программ). Для уровня магистратуры существует документ "SIAM Guidelines for a Professional Master's Degree" ¹⁹, описывающий Course Curriculum. Однако для уровня бакалавриата подобного документа нет.

Поэтому мы отобрали с сайта SIAM четыре программы уровня бакалавриата в области «Computational Science», которые имеют доступные и актуальные Curricula: Florida State University (FSU) ²⁰, George Mason University (GMU) ²¹, Monash University (MU) ²², Rice University (RU) ²³. По этим описаниям выполнена

¹⁸ http://www.siam.org/students/resources/cse_programs.php

¹⁹ <http://www.siam.org/students/resources/guidelines.php>

²⁰ <https://www.sc.fsu.edu/undergraduate/overview>

²¹ <http://cos.gmu.edu/cds/>

²²

<https://www.monash.edu/pubs/2018handbooks/aos/computational-science/ug-sci-computational-science.html>

²³ <http://www.caam.rice.edu/>

концептуализация предметной области «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree». Та часть онтологий, которая описывает таксономию курсов куррикул, содержит от 25 классов (FSU) до 42 классов (MU).

Так как публикации, исследованные в нашей работе (кроме [29]), использовали Protégé для представления онтологий, мы также использовали инструмент Protégé 5.1. На рис. 1 представлен фрагмент онтологии «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree», построенной на основе информации FSU.

Интеграция построенных онтологий для Curricula университетов FSU, GMU, MU и RU с целью приведения их к каноническому виду и последующий анализ выявил различия в распределении курсов между ядром (Core)

Curricula и блоком продвинутых курсов:

1. Curricula RU – четыре из пяти курсов ядра и все продвинутые курсы являются математическими;
2. Curricula MU – все курсы ядра и четыре из пяти альтернативных последовательностей продвинутых курсов являются ИТ-курсами;
3. Curricula FSU – все курсы ядра являются ИТ-курсами, трек CS начинается со старших курсов (что свидетельствует об учебном плане дополнительного профиля);
4. Curricula FSU – курсы ядра сосредоточены на моделях и алгоритмах Вычислительной науки;
5. «Научная визуализация» в Curricula GMU и Curricula MU находится в ядре, а в Curricula FSU – в элективной части.

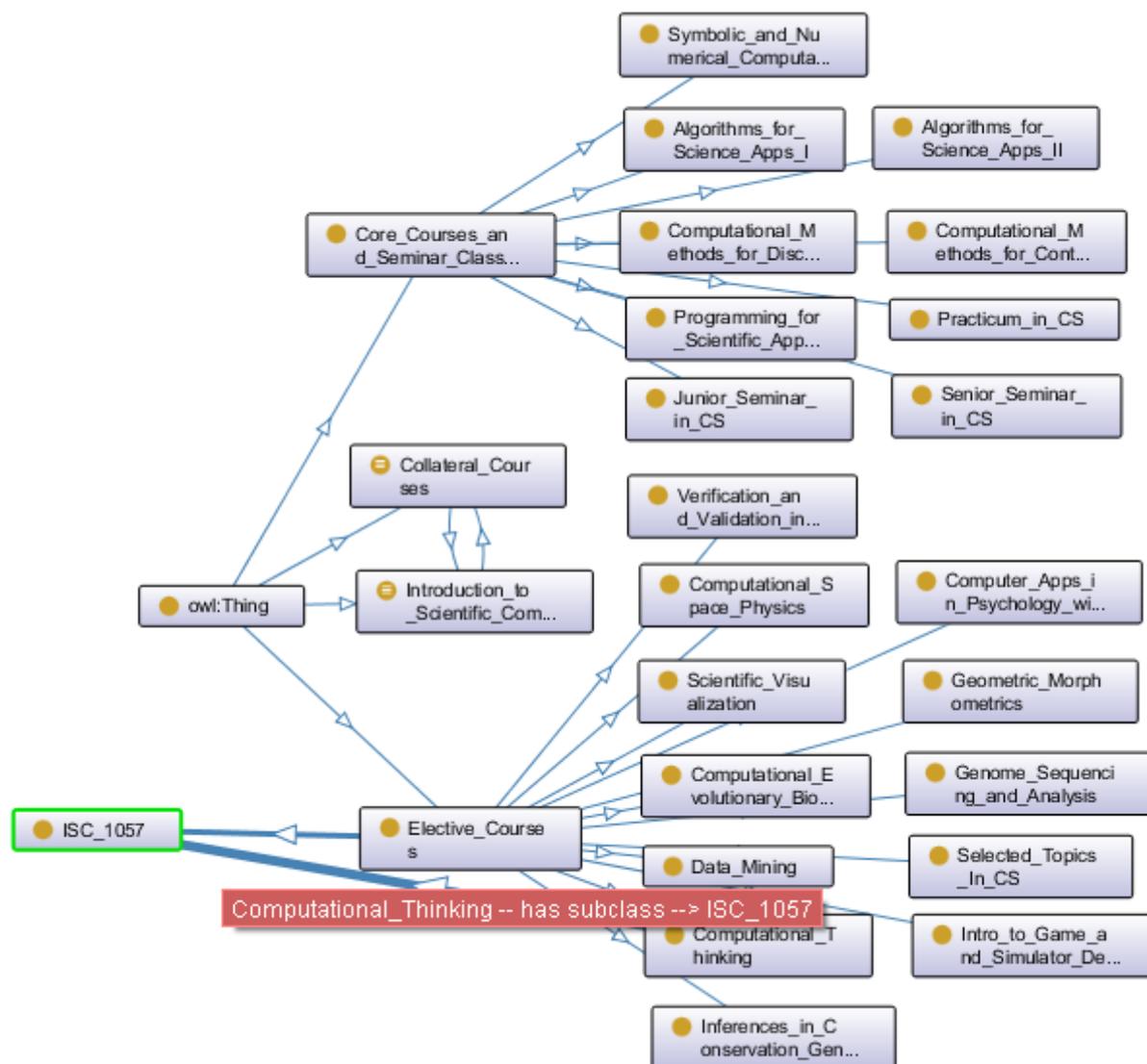


Рисунок 1. Онтология «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree» (FSU)

Также анализ онтологий, построенных для Curricula университетов FSU, GMU, MU и RU, выявил различия в подходах к формированию элективной части учебного плана:

1. Curricula FSU и Curricula GMU – реализация интердисциплинарности направления подготовки «Computational Science» в науках, далеких от ИТ (курсы из предметных областей физики и химии в GMU; курсы физики, биологии, психологии, анализа данных, морфометрии, геймификации в FSU);
2. Curricula MU – реализация интердисциплинарности направления подготовки «Computational Science» в науках из группы ИТ (обработка изображений, искусственный интеллект, виртуальная среда, бизнес-аналитика, интерфейсы, распределенные и параллельные вычисления);
3. Curricula RU – нет информации об элективных курсах.

Таким образом, применение онтологического подхода при анализе действующих университетских учебных планов по «Computational Science» позволило выявить в таксономии курсов инварианты и вариативную часть во всех разделах Curricula (ядро, продвинутое ядро, элективные курсы). В онтологиях четко прослеживается разделение учебных планов на профильную подготовку по этому направлению и дополнительные профили. Также эти онтологии явно показали два тренда, лежащих в основе направления «Computational Science»: от прикладной математики к вычислениям и, наоборот, от компьютерных наук к углублению математической составляющей при решении прикладных задач.

Такая информация является исходными данными для построения онтологии предметной области «Curricula» для направления подготовки, не имеющего унифицированного учебного плана.

Заключение

Целью написания статьи являлось исследование возможности применения подхода, основанного на онтологии, для создания концептуальной основы унификации действующих Curricula для ИТ-направления подготовки, не имеющего учебного плана, выработанного ИТ-сообществом. В результате анализа актуальных Curricula ИТ-направлений подготовки для направления «Computational Science» выявлено отсутствие унифицированного учебного плана, согласованного с корпусом Curriculum,

подготовленных ACM и IEEE. В актуальной версии Computer Science Curricula 2013 наблюдаются предпосылки для концептуализации CS как нового самостоятельного направления ИТ-подготовки.

При исследовании области применения онтологий в образовании, в ИТ-образовании и при создании, совершенствовании и использовании учебных планов выполнен качественный анализ аннотаций и/или текстов научных публикаций, представленных в наукометрических базах данных и библиотеках. Применение методики систематического поиска литературы позволило выявить примеры описания онтологий, среди которых онтология работы [44] может быть рекомендована в качестве онтологии верхнего уровня для создания онтологии предметной области «Curricula».

Анализ открытых публикаций по существующим программам обучения направления подготовки «Computational Science» показал наличие в университетах различных регионов мира программ для всех уровней обучения. На сайте организации SIAM были выбраны четыре университета, сайты, которые имеют актуальную информацию о Curricula для «Computational Science» уровня «бакалавр». Для этих учебных планов была выполнена концептуализация и формализация онтологии «Computational Science Curricula for Undergraduate Degree». Эти онтологии были интегрированы с целью приведения к каноническому виду для согласования групп дисциплин (ядро, продвинутое ядро, элективные курсы). Применение онтологического подхода позволило выявить в таксономии курсов инварианты и вариативную часть во всех разделах Curricula; разделение учебных планов на профильную подготовку по этому направлению и дополнительные профили, а также тренды интеграции компьютерных наук и математики. Эти результаты являются предпосылками для построения онтологии предметной области «Curricula» для ИТ-направления подготовки, не имеющего унифицированного учебного плана.

Ограничением данного исследования является рассмотрение возможности применения онтологического подхода при создании Curricula только одного уровня высшего образования (бакалавриат).

Применение онтологического подхода при создании Curricula ИТ-направлений подготовки других уровней образования является темой будущих исследований.

Литература

1. Kriglstein S., Motschnig-Pitrik R. The Curriculum as an Ontology — A Human Centered Visualization Approach // Proceedings of ED-MEDIA '2011 [электронный ресурс] // URL: <https://www.learntechlib.org/p/38043/> (дата обращения 11.09.2017).
2. Kitchenham B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report. Keele University & Department of Computer Science University of Durham. — 2007. — 57 p.
3. Даун Н.Н. Образование инженерии программного обеспечения: систематический обзор литературы // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. — 2015. — № 2(29). — С. 87-99.
4. Computing Curricula 2005 [электронный ресурс] // URL: http://www.acm.org/education/curric_vols/CC2005-March06Final.pdf (дата обращения 11.09.2017).
5. Information Technology 2008 [электронный ресурс] // URL: <https://www.computer.org/cms/Computer.org/professional-education/curricula/IT2008%20Curriculum.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
6. IS 2010 / Н. Topi [et al.] // Communications of the Association for Information Systems. — 2010. — № 26. — Art. 18 // [электронный ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/242558189_IS_2010_Curriculum_Guidelines_for_Undergraduate_Degree_Programs_in_Information_Systems_Association_for_Computing_Machinery_ACM_Association_for_Information_Systems_AIS (дата обращения 11.09.2017).
7. Computer Science Curricula 2013 [электронный ресурс] // URL: <http://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
8. Software Engineering 2014 [электронный ресурс] // URL: <https://www.acm.org/education/se2014.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
9. Computer Engineering Curricula 2016 [электронный ресурс] // URL: <https://www.computer.org/cms/Computer.org/professional-education/curricula/ComputerEngineeringCurricula2016.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
10. Graduate Software Engineering 2009 (GSWE2009) [электронный ресурс] // URL: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/gsew2009.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
11. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, version 3.0 [электронный ресурс] // URL: <http://www.computer.org/web/swebok/v3> (дата обращения 11.09.2017).
12. Al-Yahya M., George R., Alfaries A. Ontologies in E-Learning: Review of the Literature // International Journal of Software Engineering and Its Applications. — 2015. — Vol. 9, № 2. — P. 67-84.
13. Ontology-Driven Adaptive and Pervasive Learning Environments – APLEs: An Interdisciplinary Approach / A. Soylu [et al.] // Interdisciplinary Approaches to Adaptive Learning. A Look at the Neighbours. — 2011. — № 126. — P. 99-115.
14. Yuanfeng Z., Liang Z. Curriculum knowledge organization and representation based on ontology // Proceeding of the ICEICE '2011. — 2011. — P. 6465-6468.
15. Ontological Web Portal for Educational Ontologies. / D. Dicheva [et al.] // Proceedings of SW-EL '2005 at AIED '2005. — 2005 [Электронный ресурс] // URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/cfd2/> (дата обращения 11.09.2017).
16. Abed H. N., Tang A. Y. C., Cob Z. C. An ontology-based search engine for postgraduate students information at the ministry of higher education portal of Iraq // Proceeding of the ISDA '2013. — 2013. — P. 69-73.
17. Faculty performance evaluation system: An ontological approach / S. Bai [et al.] // Proceeding of the AICCSA '2014. — 2014. — P. 117-24.
18. Marzano A. Educational Assessment: Semantic Representation and Ontologies // Proceeding of the INCoS '2014. — 2014. — P. 695-698.
19. A Combined Method for E-Learning Ontology Population based on NLP and User Activity Analysis / D. Mouromtsev [et al.] // Proceeding of the Linked Learning meets LinkedUp Workshop: Learning and Education with the Web of Data co-located with ISWC '2014. — 2014. — P. 1-15 [Электронный ресурс] // URL: http://ceur-ws.org/Vol-1254/5_mouromtsev.pdf (дата обращения 11.09.2017).
20. An Ontology-Based Approach for the Semantic Representation of Job Knowledge / M. Khobreh [et al.] // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. — 2016. Vol. 4, № 3. — P. 462-473.
21. Alomari J. S. Ontology for Academic Program Accreditation. Ontology of Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET) Process // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. — 2016. — Vol. 7, № 7. — P. 123-127.
22. Pedagogical and Structural Analysis of SE Courses / M. Usman [et al.] // Proceeding of the CSEE&T '2010. — 2010. — P. 136-143.
23. Towards a folksonomy solution to support open educational activities and resources in Edu-AREA / M. Caeiro [et al.] // Proceeding of the EDUCON '2014. — 2014. — P. 257-266.
24. Automating the authoring of learning material in Computer Engineering education / A. Conde [et al.] // Proceeding of the FIE '2012. — 2012. — P. 1-6.
25. Using S.N.M., Ahmad R., Taib. S.M. Ontology of programming resources for semantic searching of programming related materials on the Web // Proceeding of the ITSIM '2010. — 2010. — Vol. 2. — P. 698-703.
26. Ruiz-Iniesta A., Jiménez-Díaz G., Gómez-Albarrán M. A Semantically Enriched Context-Aware OER Recommendation Strategy and Its Application to a Computer Science OER Repository // IEEE Transactions on Education. — 2014. — Vol. 57, № 4. — P. 255-260.
27. Anistiyasari Y., Sarno R. Weighted ontology for subject search in Learning Content Management System // Proceeding of the ICEEI '2011. — 2011. — P. 1-4.
28. Saliyah-Hassane H., Correia, R. C., Fonseca, J. M. A network and repository for online laboratory, based on ontology // Proceeding of the EDUCON '2013. — 2013. — P. 1177-1189.
29. Котова Е.Е., Писарев И.А. Автоматизированная разработка учебных онтологий областей знаний // Всероссийская конференция с международным участием "Знания — Онтологии — Теории". — 2015. — С. 168-175.
30. Snow E., Moghrabi C., Fournier-Viger Ph. Assessing Procedural Knowledge in Free-Text Answers through a Hybrid Semantic Web Approach // Proceeding of the ICTAI '2013. — 2013. — P. 698-706.
31. Automatic generation of test questions by software agents using ontologies / N. S. Stancheva [et al.] // Proceeding of the IS '16. — 2016. — P. 741-746.
32. Harchay A., Cheniti-Belcadhi L., Braham R. An Investigation of the Enhancement and the Formal Description of IMS/QTI Specification for Programming Courses // Proceeding of the ICALT '2010. — 2010. — P. 113-115.

33. Nganji J. T., Brayshaw M. Personalizing learning materials for students with multiple disabilities in virtual learning environments // Proceeding of the SAI '2015. — 2015. — P. 69-76.
34. Chimalakonda S., Nori K. V. What makes it hard to teach software engineering to end users? some directions from adaptive and personalized learning // Proceeding of the CSEE&T '2013. — 2013. — P. 324-328.
35. Towards the Effective Use of Available Educational Resources: Designing Adaptive Hypermedia Environments for the Engineering Sciences / S. Carolan [et al.] // Proceeding of the ICALT '2015. — 2015. — P. 400-402.
36. Zouaq A., Nkambou R., Frasson C. Using a Competence Model to Aggregate Learning Knowledge Objects // Proceeding of the ICALT '2007. — 2007. — P. 836-840.
37. Monitoring of the teaching-learning of computer architecture based on skills, learning styles and semantic elements / H. A. Gómez [et al.] // Proceedings of the TALE '2013. — 2013. — P. 641-647.
38. Gruber T.A translation Approach to Portable Ontology Specifications // Knowledge Acquisition Journal. — 1993. — № 5. — P. 199-220 [электронный ресурс] // URL: <http://eecs.ceas.uc.edu/~mazlack/ECE.716.Sp2011/Semantic.Web.Ontology.Papers/Gruber.93a.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
39. Liu D., Mikroyannidi E., Lee R. Semantic Web Technologies Supporting the BBC Knowledge & Learning // Proceeding of the Linked Learning meets LinkedUp Workshop: Learning and Education with the Web of Data co-located with ISWC '2014. — 2014. — P. 1-14.
40. An ontology learning and teaching techniques for competency-based curricula design / G. Muñoz [et al.] // Proceeding of the CLEI '2013. — 2013. — P. 1-8.
41. Lu W., Zhang J. Construction of Curriculum Ontology Aiming at Educational Service Support: An Ontology Approach for Knowledge-Intensive Service Systems // Proceeding of the IJCSS '2011. — 2011. — P. 315-318.
42. Representation of an Electrical Engineering Curriculum using an Ontology of Controlled Quality / C. Sarmiento [et al.] // Journal of Mechanics Engineering and Automation. — 2014. — Vol. 4, № 2. — P. 130-141.
43. Wang J., Li Y. Study on curriculum resource management based on ontology // Proceeding of the CINC '2010. — 2010. — Vol. 1. — P. 295-298.
44. Ugljanin E. Use of ontology in creating and monitoring of curriculum / E. Ugljanin, E. Kajan // Proceeding of the TELFOR '2012. — 2012. — P. 1397-1400.
45. A Service-Oriented Approach for Curriculum Planning and Validation / M. Baldoni [et al.] // Proceedings of the MALLOW-AWESOME '2007. — 2007. — P. 108-123.
46. Hedayati M. H., Mart L. Ontology-driven modeling for the culturally-sensitive curriculum development: A case study in the context of vocational ICT education in Afghanistan // Proceedings of the INDIACom '2016. — 2016. — P. 928-932.
47. The bowlogna ontology: Fostering open curricula and agile knowledge bases for europe's higher education landscape / G. Demartini [et al.] // Semantic Web. — 2013. — Vol. 4, № 1. — P. 53-63.
48. Chi Y.-L. Ontology-based curriculum content sequencing system with semantic rules // Expert Systems with Applications. — 2009. — Vol. 36, № 4. — P. 7838-7847.
49. Chung H., Kim J. An Ontological Approach for Semantic Modeling of Curriculum and Syllabus in Higher Education // International Journal of Information and Education Technology. — 2016. — Vol. 6, № 5. — P. 365-369.
50. Academic Institution Internal Structure Ontology (AIISO) [электронный ресурс] // URL: <http://vocab.org/aiiso/schema> (дата обращения 11.09.2017).
51. Poulouva P., Klimova B. Education in Computational Sciences // Procedia Computer Science. — 2015. — № 51. — P. 1996-2005.
52. Alexandrov N., Alexandrov V. Computational Science Research Methods for Science Education at PG Level // Procedia Computer Science. — 2015. — № 51. — P. 1685-1693.
53. A New Canadian Interdisciplinary PhD in Computational Sciences / W. B. Gardner [et al.] // Journal of Computational Science. — 2015. — № 9. — P. 82-87.
54. Russian-Dutch double-degree master's programme in computational science in the age of global education / V.V. Krzhizhanovskaya [et al.] // Journal of Computational Science. — 2015. — Vol. 10. — P. 288-298.

References

1. Kriglstein S., Motschnig-Pitrik R. The Curriculum as an Ontology — A Human Centered Visualization Approach // Proceedings of EDMEDIA '2011 [электронный ресурс] // URL: <https://www.learntechlib.org/p/38043/> (дата обращения 11.09.2017).
2. Kitchenham B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report. Keele University & Department of Computer Science University of Durham. — 2007. — 57 p.
3. Datsun N.N. Obrazovanie inzhenerii programmnogo obespechenija: sistematicheskij obzor literatury // Vestnik Permskogo universiteta. Serija: Matematika. Mehanika. Informatika. — 2015. — № 2(29). — S. 87-99.
4. Computing Curricula 2005 [электронный ресурс] // URL: http://www.acm.org/education/curric_vols/CC2005-March06Final.pdf (дата обращения 11.09.2017).
5. Information Technology 2008 [электронный ресурс] // URL: <https://www.computer.org/cms/Computer.org/professional-education/curricula/IT2008%20Curriculum.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
6. IS 2010 / H. Topi [et al.] // Communications of the Association for Information Systems. — 2010. — № 26. — Art. 18 // [электронный ресурс] // URL: https://www.researchgate.net/publication/242558189_IS_2010_Curriculum_Guidelines_for_Undergraduate_Degree_Programs_in_Information_Systems_Association_for_Computing_Machinery_ACM_Association_for_Information_Systems_AIS (дата обращения 11.09.2017).
7. Computer Science Curricula 2013 [электронный ресурс] // URL: <http://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
8. Software Engineering 2014 [электронный ресурс] // URL: <https://www.acm.org/education/se2014.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
9. Computer Engineering Curricula 2016 [электронный ресурс] // URL: <https://www.computer.org/cms/Computer.org/professional-education/curricula/ComputerEngineeringCurricula2016.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
10. Graduate Software Engineering 2009 (GSWE2009) [электронный ресурс] // URL: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/gsew2009.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
11. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, version 3.0 [электронный ресурс] // URL:

- <http://www.computer.org/web/swebok/v3> (дата обращения 11.09.2017).
12. Al-Yahya M., George R., Alfaries A. Ontologies in E-Learning: Review of the Literature // *International Journal of Software Engineering and Its Applications*. — 2015. — Vol. 9, № 2. — P. 67-84.
 13. Ontology-Driven Adaptive and Pervasive Learning Environments – APLEs: An Interdisciplinary Approach / A. Soylu [et al.] // *Interdisciplinary Approaches to Adaptive Learning. A Look at the Neighbours*. — 2011. — № 126. — P. 99-115.
 14. Yuanfeng Z., Liang Z. Curriculum knowledge organization and representation based on ontology // *Proceeding of the ICEICE '2011*. — 2011. — P. 6465-6468.
 15. Ontological Web Portal for Educational Ontologies. / D. Dicheva [et al.] // *Proceedings of SW-EL '2005 at AIED '2005*. — 2005 [Электронный ресурс] // URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/cfd2/> (дата обращения 11.09.2017).
 16. Abed H. N., Tang A. Y. C., Cob Z. C. An ontology-based search engine for postgraduate students information at the ministry of higher education portal of Iraq // *Proceeding of the ISDA '2013*. — 2013. — P. 69-73.
 17. Faculty performance evaluation system: An ontological approach / S. Bai [et al.] // *Proceeding of the AICCSA '2014*. — 2014. — P. 117-24.
 18. Marzano A. Educational Assessment: Semantic Representation and Ontologies // *Proceeding of the INCoS '2014*. — 2014. — P. 695-698.
 19. A Combined Method for E-Learning Ontology Population based on NLP and User Activity Analysis / D. Mouromtsev [et al.] // *Proceeding of the Linked Learning meets LinkedUp Workshop: Learning and Education with the Web of Data co-located with ISWC '2014*. — 2014. — P. 1-15 [Электронный ресурс] // URL: http://ceur-ws.org/Vol-1254/5_mouromtsev.pdf (дата обращения 11.09.2017).
 20. An Ontology-Based Approach for the Semantic Representation of Job Knowledge / M. Khobreh [et al.] // *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*. — 2016. Vol. 4, № 3. — P. 462-473.
 21. Alomari J. S. Ontology for Academic Program Accreditation. Ontology of Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET) Process // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. — 2016. — Vol. 7, № 7. — P. 123-127.
 22. Pedagogical and Structural Analysis of SE Courses / M. Usman [et al.] // *Proceeding of the CSEE&T '2010*. — 2010. — P. 136-143.
 23. Towards a folksonomy solution to support open educational activities and resources in Edu-AREA / M. Caeiro [et al.] // *Proceeding of the EDUCON '2014*. — 2014. — P. 257-266.
 24. Automating the authoring of learning material in Computer Engineering education / A. Conde [et al.] // *Proceeding of the FIE '2012*. — 2012. — P. 1-6.
 25. Using S.N.M., Ahmad R., Taib. S.M. Ontology of programming resources for semantic searching of programming related materials on the Web // *Proceeding of the ITSIM '2010*. — 2010. — Vol. 2. — P. 698-703.
 26. Ruiz-Iniesta A., Jiménez-Díaz G., Gómez-Albarrán M. A Semantically Enriched Context-Aware OER Recommendation Strategy and Its Application to a Computer Science OER Repository // *IEEE Transactions on Education*. — 2014. — Vol. 57, № 4. — P. 255-260.
 27. Anistyasari Y., Sarno R. Weighted ontology for subject search in Learning Content Management System // *Proceeding of the ICEEI '2011*. — 2011. — P. 1-4.
 28. Saliah-Hassane H., Correia, R. C., Fonseca, J. M. A network and repository for online laboratory, based on ontology // *Proceeding of the EDUCON '2013*. — 2013. — P. 1177-1189.
 29. Kotova E.E., Pisarev I.A. Avtomatizirovannaja razrabotka uchebnyh ontologij oblastej znaniy // *Vserossijskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem "Znanija — Ontologii — Teorii"*. — 2015. — S. 168-175. 29.
 30. Snow E., Moghrabi C., Fournier-Viger Ph. Assessing Procedural Knowledge in Free-Text Answers through a Hybrid Semantic Web Approach // *Proceeding of the ICTAI '2013*. — 2013. — P. 698-706.
 31. Automatic generation of test questions by software agents using ontologies / N. S. Stancheva [et al.] // *Proceeding of the IS '16*. — 2016. — P. 741-746.
 32. Harchay A., Cheniti-Belcadhi L., Braham R. An Investigation of the Enhancement and the Formal Description of IMS/QTI Specification for Programming Courses // *Proceeding of the ICALT '2010*. — 2010. — P. 113-115.
 33. Nganji J. T., Brayshaw M. Personalizing learning materials for students with multiple disabilities in virtual learning environments // *Proceeding of the SAI '2015*. — 2015. — P. 69-76.
 34. Chimalakonda S., Nori K. V. What makes it hard to teach software engineering to end users? some directions from adaptive and personalized learning // *Proceeding of the CSEE&T '2013*. — 2013. — P. 324-328.
 35. Towards the Effective Use of Available Educational Resources: Designing Adaptive Hypermedia Environments for the Engineering Sciences / S. Carolan [et al.] // *Proceeding of the ICALT '2015*. — 2015. — P. 400-402.
 36. Zouaq A., Nkambou R., Frasson C. Using a Competence Model to Aggregate Learning Knowledge Objects // *Proceeding of the ICALT '2007*. — 2007. — P. 836-840.
 37. Monitoring of the teaching-learning of computer architecture based on skills, learning styles and semantic elements / H. A. Gómez [et al.] // *Proceedings of the TALE '2013*. — 2013. — P. 641-647.
 38. Gruber T.A translation Approach to Portable Ontology Specifications // *Knowledge Acquisition Journal*. — 1993. — № 5. — P. 199-220 [электронный ресурс] // URL: <http://eecs.ceas.uc.edu/~mazlack/ECE.716.Sp2011/Semantic.Web.Ontology.Papers/Gruber.93a.pdf> (дата обращения 11.09.2017).
 39. Liu D., Mikroyannidi E., Lee R. Semantic Web Technologies Supporting the BBC Knowledge & Learning // *Proceeding of the Linked Learning meets LinkedUp Workshop: Learning and Education with the Web of Data co-located with ISWC '2014*. — 2014. — P. 1-14.
 40. An ontology learning and teaching techniques for competency-based curricula design / G. Muñoz [et al.] // *Proceeding of the CLEI '2013*. — 2013. — P. 1-8.
 41. Lu W., Zhang J. Construction of Curriculum Ontology Aiming at Educational Service Support: An Ontology Approach for Knowledge-Intensive Service Systems // *Proceeding of the IJCSS '2011*. — 2011. — P. 315-318.
 42. Representation of an Electrical Engineering Curriculum using an Ontology of Controlled Quality / C. Sarmiento [et al.] // *Journal of Mechanics Engineering and Automation*. — 2014. — Vol. 4, № 2. — P. 130-141.
 43. Wang J., Li Y. Study on curriculum resource management based on ontology // *Proceeding of the CINC '2010*. — 2010. — Vol. 1. — P. 295-298.
 44. Ugljanin E. Use of ontology in creating and monitoring of curriculum / E. Ugljanin, E. Kajan // *Proceeding of the TELFOR '2012*. — 2012. — P. 1397-1400.
 45. A Service-Oriented Approach for Curriculum Planning and Validation / M. Baldoni [et al.] // *Proceedings of the MALLOW-AWESOME '2007*. — 2007. — P. 108-123.

46. Hedayati M. H., Mart L. Ontology-driven modeling for the culturally-sensitive curriculum development: A case study in the context of vocational ICT education in Afghanistan // Proceedings of the INDIACom '2016. — 2016. — P. 928-932.
47. The bowlogna ontology: Fostering open curricula and agile knowledge bases for europe's higher education landscape / G. Demartini [et al.] // Semantic Web. — 2013. — Vol. 4, № 1. — P. 53-63.
48. Chi Y.-L. Ontology-based curriculum content sequencing system with semantic rules // Expert Systems with Applications. — 2009. — Vol. 36, № 4. — P. 7838-7847.
49. Chung H., Kim J. An Ontological Approach for Semantic Modeling of Curriculum and Syllabus in Higher Education // International Journal of Information and Education Technology. — 2016. — Vol. 6, № 5. — P. 365-369.
50. Academic Institution Internal Structure Ontology (AIISO) [электронный ресурс] // URL: <http://vocab.org/aiiso/schema> (дата обращения 11.09.2017).
51. Poulouva P., Klimova B. Education in Computational Sciences // Procedia Computer Science. — 2015. — № 51. — P. 1996-2005.
52. Alexandrov N., Alexandrov V. Computational Science Research Methods for Science Education at PG Level // Procedia Computer Science. — 2015. — № 51. — P. 1685-1693.
53. A New Canadian Interdisciplinary PhD in Computational Sciences / W. B. Gardner [et al.] // Journal of Computational Science. — 2015. — № 9. — P. 82-87.
54. Russian-Dutch double-degree master's programme in computational science in the age of global education / V.V. Krzhizhanovskaya [et al.] // Journal of Computational Science. — 2015. — Vol. 10. — P. 288-298.

Поступила: 15.10.2017

Об авторах:

Дацун Наталья Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем механико-математического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет, nndatsun@inbox.ru

Уразаева Лилия Юсуповна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математики, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, delovoi2004@mail.ru

Note on the authors:

Datsun Nataliya N., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of computer science faculty of mechanics and mathematics, Perm State University, nndatsun@inbox.ru

Urazaeva Lilija Ju, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of mathematics, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, delovoi2004@mail.ru