

*Васильев Владимир Николаевич,
Муромцев Дмитрий Ильич,
Стафеев Сергей Константинович*

УДК 378.147

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЭЛЕКТРОННОМ ОБУЧЕНИИ: ОТКРЫТОСТЬ, ГИБКОСТЬ, СВЯЗНОСТЬ И ИНТЕРАКТИВНОСТЬ

Аннотация

В статье представлен концептуальный анализ современных тенденций в электронном обучении, исследуются влияющие на развитие образовательных интернет-платформ факторы и приводится обоснование необходимости использования онтологического подхода, как при структурировании образовательного контента, так и при организации доступа к учебным репозиториям, а также анализ технологических трендов и анализ основных задач, реализация которых позволит эффективно применить онтологический подход к электронному обучению. В качестве иллюстрации практической составляющей работы авторы приводят описания существующих онтологий для систем электронного обучения нового типа.

Ключевые слова: электронное обучение, интернет-обучение, онтологии, linked learning, OWL, RDF.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) на все сферы жизни современного общества огромно. По сути, за последние несколько лет под влиянием новейших информационных технологий выросло поколение людей, чье мировосприятие радикально отличается от всего того, что существовало до сих пор. Очевидно, что без существенного изменения подходов к построению образовательного процесса в университетах, особенно систем электронного обучения, развитие высшего профессионального образования будет затруднено, при этом

обучающиеся будут все больше и больше обращаться за необходимой информацией к альтернативным «цифровым» источникам знаний, что еще более снизит авторитет и статус вузов как центров научных и профессиональных компетенций.

Преодоление пессимистических сценариев развития электронного обучения в университетах связано с необходимостью создания нового образовательного пространства, учитывающего современные тенденции и феномены развития общества, коммуникаций внутри него, как между отдельными гражданами, так и при взаимодействии с государством (в части различных электронных услуг и инициатив). К таким феноменам (в контексте данной работы) следует отнести:

© Васильев В.Н., Муромцев Д.И.,
Стафеев С.К., 2013

- Интернет как технологическую платформу, обеспечивающую свободный доступ пользователей к контенту.

- Тенденцию к *открытию информации и данных* в машиночитаемых форматах, что позволяет создавать *программные решения нового поколения* (так называемый Web 3.0¹), основными элементами которого являются семантическая паутина² и персонализация³.

- Широчайшая (цифровая) *социализация всех процессов жизни общества*, следствием которой является желание людей получать информацию из ближнего круга, виртуализация общения и другие фундаментальные изменения как внутри общества, так и при его взаимодействии с органами власти, образовательными учреждениями и пр.

- Наконец, проникновение информационных технологий в повседневную жизнь человека, радикально изменивших мировосприятие молодого поколения. В частности, отмечается, что многие *проблемы* современной молодежи *связаны с клиповым мышлением*⁴, включая *виртуализацию*.

Говоря о новом формате представления образовательного контента, следует, прежде всего, обратить внимание на тот факт, что основным подходом к структурированию

информации сегодня являются онтологии или иерархические концептуальные структуры, формируемые экспертами и аналитиками в предметной области [1]. Процесс построения онтологий получил название «онтологический инжиниринг» [2] и может считаться развитием методологии инженерии знаний в искусственном интеллекте. С методической точки зрения этот подход – один из наиболее «систематических» и наглядных. С технологической – открытый для внесения изменений и актуализации с минимальным риском получения противоречивых данных и знаний, что особенно актуально для образовательных задач. Из множества существующих определений понятия «онтология» для данной работы предлагается использовать следующее: «Онтология – это структурированный словарь предметной области, концептуальная схема которого представлена через логическую теорию». Важным моментом также является наличие рекомендованных консорциумом W3C языков и инструментов для работы с онтологиями⁵. При этом следует особо отметить, что процесс онтологического инжиниринга – это не генерация новых знаний, а лишь эксплицирование (запись в явном виде) и формализация существующего опыта луч-

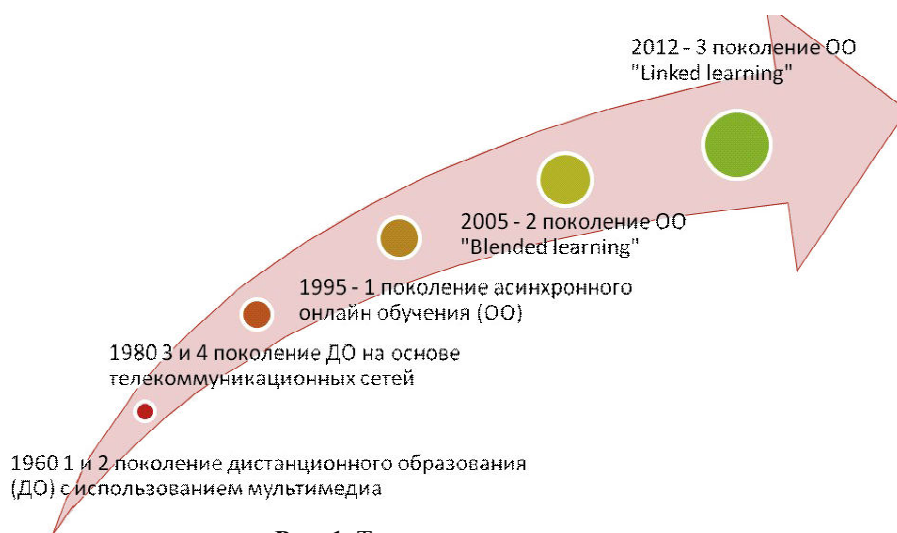


Рис. 1. Тренд развития систем дистанционного и электронного обучения

¹ <http://calacanis.com/2007/10/03/web-3-0-the-official-definition/>

² <http://www.w3.org/standards/semanticweb/>

³ <http://www.umuai.org>

⁴ <http://jarki.ru/wpress/2013/02/18/3208/>

⁵ <http://www.w3.org/standards/semanticweb/ontology>

ших экспертов для многократного использования и тиражирования [3].

В данной работе представлен анализ развития и современного состояния систем дистанционного и электронного обучения. На рис. 1 показан основной тренд развития данного класса систем, начиная с первых систем дистанционного обучения с применением технологий мультимедиа.

Уже сейчас можно утверждать, что, в соответствии с наметившейся в последнее время в рамках тенденции linked learning интеллектуализацией образовательного онлайн контента за счет применения онтологий, произойдет существенное изменение технологической основы и, как следствие, форм подачи информации за счет широкого распространения семантических технологий. Данное предположение полностью подтверждается анализом новейших направлений исследований и разработок в области образования, представленных на рис. 2 и построенных по содержанию материалов Седьмой

Международной конференции по технологиям, образованию и развитию (7th International Technology, Education and Development Conference), прошедшей в Валенсии, Испания 4–6 марта 2013 года.

К проблематике построения систем электронного он-лайн обучения 3-го поколения относятся такие разделы как:

- Совместное (смешанное) онлайн обучение.
- Общие проблемы новой образовательной парадигмы.
- Глобальные (массивные) цифровые видеолекции.
- Визуальные искусства, медиа-технологии и когнитивная визуализация.
- Применения новых устройств и технологий.
- Веб-инструменты для интеграции контента.
- Онтологии, базы знаний.

Они дают в общей сложности более половины представленных работ.

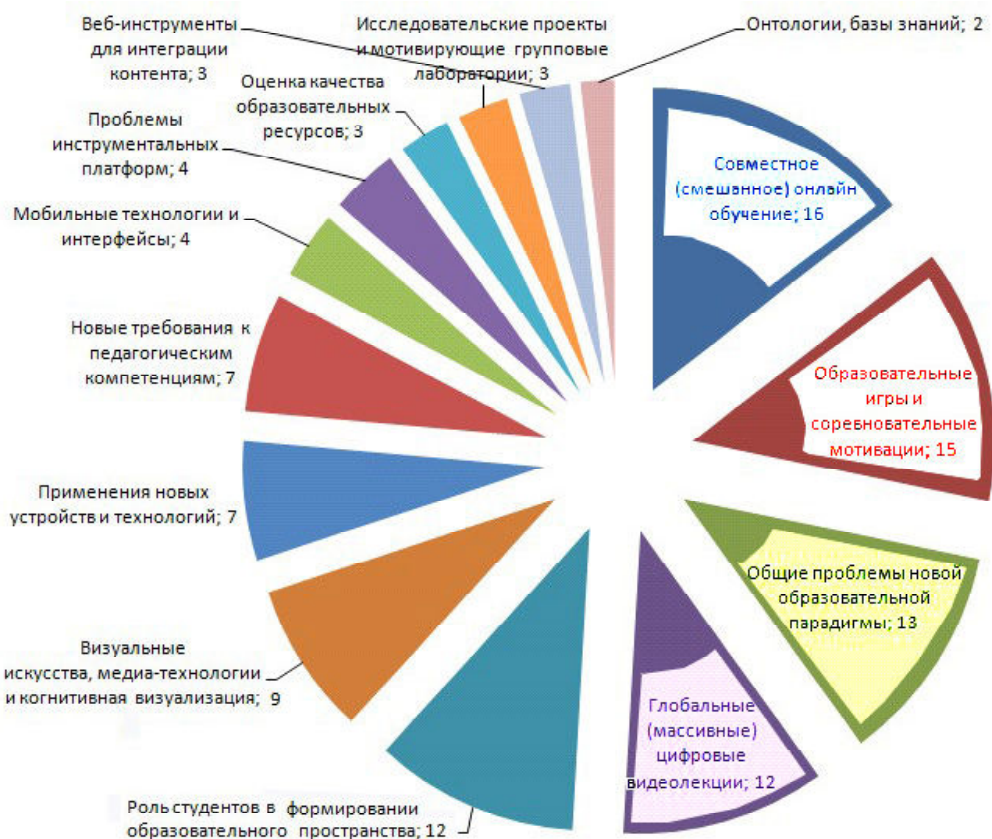


Рис. 2. Результаты анализа материалов конференции INTED

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Среди основных проблем, де-факто существующих в высшем профессиональном образовании, можно выделить слабое методическое и электронное обеспечение учебных курсов, обособленность учебного процесса как в части его обновления с учетом новейших разработок, так и в отсутствии обратной связи со студентами. Авторы исключают из рассмотрения проблемы инфраструктурного, нормативного и финансового характера, концентрируясь лишь на тех аспектах, которые могут быть преодолены за счет применения новейших разработок в области ИКТ без существенной перестройки образовательного процесса в целом. Конкретизируя вышесказанное, следует обратить внимание на решение следующих проблем:

1. Существующие образовательные ресурсы зачастую являются неполными и устаревшими. Это подталкивает студентов к самостоятельному поиску учебно-методических материалов, что способствует возникновению параллельной сети распространения «конспектов» и «шпаргалок».

2. Слабая структурированность образовательных ресурсов, отсутствие связности и интероперабельности между отдельными компонентами.

3. Учет глобализации образовательных процессов – постоянная модернизация учебных программ, в том числе и с использованием существующих в сети Интернет образовательных ресурсов сторонних поставщиков. Такая практика набирает обороты во всем мире. Причем ресурсы зачастую предоставляются провайдером на бесплатной основе.

4. Учет специфики восприятия информации молодыми людьми, мироощущение которых сформировалось в «цифровой век». Основными особенностями такого восприятия являются клиповое мышление (когнитивная особенность, проявляющаяся в неспособности воспринимать длительные потоки информации) и виртуализация многих комму-

никативных процессов (множественные электронные каналы коммуникаций и дополненная реальность).

5. Учет цифровой социализации общества. Сегодня объем информации в социальных сетях, по всей видимости, превышает традиционные способы хранения и передачи данных. Интеграция технологий социализации (использование социальных сервисов) в образовательный процесс позволит вдохнуть в него «новую жизнь», так как появится возможность устранить разрыв между образованием и «реальностью», в которой существуют студенты.

6. Отсутствие в существующей системе образования компоненты «активного обучения» и феномена «long tail», предполагающего вовлечение в процесс преподавания не только профессорско-преподавательского состава, но и большого количества студентов, обменивающихся опытом в решении частных задач, таким образом, обучая друг друга. Данный процесс известен под названием «long tail model¹».

7. Наконец, существенной проблемой является недостаточная интерактивность образовательного процесса. Причем акцент тут должен делаться, в том числе, и на нетрадиционных формах подачи учебного материала и игровых форматах проведения практических занятий, так как это позволит использовать творческую составляющую для повышения мотивации студентов.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД И СЕМАНТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Анализ исследований мировых лидеров в прогнозных исследованиях приведен в [4] «...до 2020 года количество информации и потребности в ней будут расти экспоненциально... Без умения создавать и обрабатывать такие объемы информации ЛПР (лица, принимающие решения) будущего будут введены в состояние, которое можно назвать «аналитический паралич»...». В той же работе отмечается, что одной из самых больших проблем современного общества является

¹ The long tail model of higher education. <http://blog.gatlininternational.co.uk/2010/02/15/the-long-tail-model-of-higher-education/#.UQGmdKXOdSc>

информационное переполнение. И в настоящее время уже осознано направление главного «удара» в борьбе с информационным взрывом – переход от хранения и обработки данных к накоплению и обработке знаний, что, в свою очередь, формирует новую семантическую волну (рис. 3), которая, по оценке руководителя проекта Project 10X Миллса Дэвиса, существенным образом изменит характер работы с информацией.

Применительно к образовательной тематике актуальным является вопрос применения онтологического подхода к организации образовательного контента, обеспечивающего единообразие формата представления материалов, системность и научность при структурировании материалов. Также важнейшим преимуществом такого подхода является возможность применения специальных программных средств для интеллектуального поиска и обработки информации.

На практике для реализации новой технологии, как правило, достаточно применить семантическую метаразмечку к уже существующим ресурсам, что не требует существенных затрат по обновлению всей информационной инфраструктуры. Основными преимуществами данного решения являются используемые для формализации различного рода отношений, свойств и ограничений так называемые триплеты – структуры в виде «объект – предикат – субъект». Эта простая конструкция позволяет сформировать графы понятий, описывающие модель предметной области, что, в свою очередь, делает возможной интеграцию образовательных ресурсов в единую семантическую сеть [5].

Среди основных задач, реализация которых позволит эффективно применить онтологический подход к электронному обучению, следует выделить следующие:

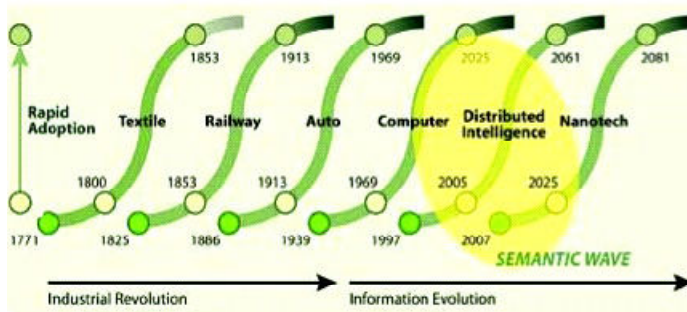


Рис. 3. Семантическая волна

- стандартизация технологий, необходимых для формирования и сопровождения пространств знаний,
- разработка, хранение, обработка и поиск семантического контента, обеспечивающие эффективную работу с большими объемами знаний (Big Data);
- обеспечение доступности семантического контента, доступность онтологий и средств их разработки,
- визуализация онтологических структур знаний, обеспечивающая свободную ориентацию пользователя в огромном количестве фактов и связей, учитывающая его контекст и цели.
- поддержка мультиязычности онтологий и контента.

На рис. 4 приведены активно развивающиеся технологические тренды в области семантических технологий, и их предполагаемое развитие в ближайшей перспективе [6]. С точки зрения электронного обуче-

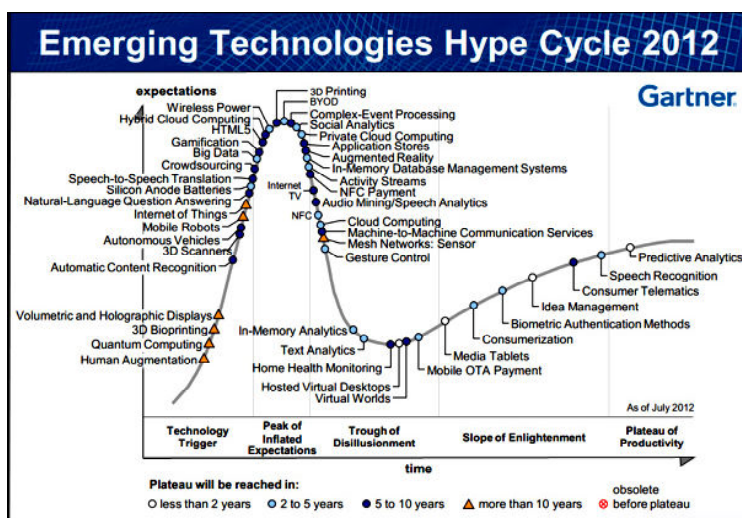


Рис. 4. Тренды семантических технологий

ния, наибольший интерес представляют следующие:

1. Открытые связанные данные (Linked Open Data) [7].
2. Социальный семантический Вэб (Social Semantic Web) [8].
3. Семантический поиск (Semantic search) [9].
4. Семантические цифровые библиотеки (Semantic Digital Libraries) [10].
5. Семантические технологии в приложениях (Semantic-based e-Apps) [11].

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ И ПРИМЕРЫ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ НОВОГО ТИПА

Онтологические модели (OWL и RDFs) позволяют обеспечить интеграцию различных образовательных ресурсов системы онлайн обучения как между собой, так и с внешними ресурсами за счет стандартного представления информации. Для каждой разновидности ресурсов создаются свои онтологии, но за счет «открытой» семантики моделей становится возможным их отображение (mapping), то есть выстраивание логических связей. Поскольку каждый элемент онтологии представляется в виде уникального глобального адреса некоего объекта в сети Интернет (URI), становится возможным использование этих элементов в различных контекстах так, как если бы все содержимое онтологии хранилось бы в одной базе данных. Совокупность онтологий принято называть базой знаний, так как физически они представляются множеством высокоуровневых языковых конструкций: аксиом дискрипционной логики и RDF-графом. Работа с базой знаний осуществляется посредством специального языка запросов SPARQL (похожего на SQL). Хотя онтологии и представляют собой описание «человеческих» знаний, они, в первую очередь, предназначены для работы поисковых алгоритмов и семантического аннотирования контента. Для внедрения семантических тегов, помимо метаданных RDF и OWL, также используется диалект RDF.

¹ <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>

² <http://www.foaf-project.org>

Онтологическому моделированию и семантической разметке подлежат все данные в системе электронного обучения, иначе возможности этого подхода сильно ограничиваются. Это обусловлено тем, что интеграция осуществляется не только за счет выстраивания прямых связей (ссылок) между объектами, но и за счет логического вывода, в ходе которого формируются цепочки взаимосвязанных объектов различной длины.

Методика онтологического инжиниринга подразумевает формирование трехуровневой модели: 1) на верхнем уровне, так называемые базовые терминологические словари (upper ontologies); 2) средний, или предметный, уровень задает модель предметной области (аналог иерархии классов в ООП или ER-диаграмм в БД); 3) прикладной уровень является конкретным наполнением (экземпляры классов; информация из БД и т. п.).

В данный момент в мировой практике уже сложилось некоторое количество стандартизованных верхнеуровневых онтологических моделей:

- Dublin Core¹: метаданные Dublin Core (DC) представляет собой словарь, используемый для описания предметных областей и ресурсов в целом, представленный на языке RDF Schema. Этот словарь содержит общие свойства, которые обычно используются для элементов метаданных на различных типах ресурсов, включая названия, авторов, издателей, даты, события и т. д. Элементы DC также часто повторно используются, дополняются и конкретизируются в других словарях (например, BIBO, или W3C-онтологии для медиаданных).

- FOAF² (Friend Of A Friend): является распространенной и очень популярной онтологией для описания людей и их отношений с другими субъектами. Первоначально этот словарь был задуман как первая попытка создать приложение «Social Semantic Web», в частности, представляющее круг знакомств конкретного человека. На сегодняшний день FOAF используется в самых различных контекстах и сценариях и считается стандартом де-факто для представления основной информации о персоналиях.

- ВИБО¹ (The Bibliographic Ontology): библиографическая онтология, обычно используется для описания библиографических ссылок в формате RDF. Эта онтология может быть использована в качестве онтологии цитирования, онтологии классификации документов или просто как способ для описания любого вида документов в RDF. При разработке онтологии были использованы многие существующие форматы описания метаданных документа, поэтому ВИБО может быть использована в качестве общей основы для преобразования произвольных источников библиографических данных к общему формату. ВИБО представлена на OWL и содержит набор логических определений, расширяющих, в частности, FOAF и DC словари.

- АИСО² (the Academic Institution Internal Structure Ontology): онтология внутренней структуры академических институтов используется для представления структуры научных организаций в терминах подразделений и учебных программ. Она содержит классы для представления таких объектов, как факультеты, кафедры, а также учебные модули. АИСО используется в качестве основной схемы для описания организационных диаграмм образовательных учреждений и курсов, преподаваемых в конкретном учреждении.

- SKOS³ (Simple Knowledge Organization System): модель связывания научных данных, адаптированная для компьютерной обработки. В частности, SKOS включает контролируемые структурные словари семантических значений для связывания научных данных.

- MLO⁴ (Metadata for Learning Opportunities): метаданные для образовательных возможностей являются стандартной европейской моделью метаданных для рекламы и продвижения возможностей обучения (модули и программы курсов). Она разработана для обеспечения агрегации такого рода метаданных из различных источников в це-

лях единообразного представления информации об образовании в различных учреждениях и странах.

- W3C⁵ онтология для медиаресурсов: представляет расширенные метаданные для медиаресурсов в Интернет.

- Event ontology⁶: простой словарь для представления событий, мест проведения, времени, участников и содержания. Обычно используется для представления любого типа событий, в том числе образовательных мероприятий, таких как лекции и семинары, а также развлекательных мероприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В последние годы в сети было опубликовано большое количество открытых связанных данных (Linked Open Data, LOD, LD), включая более 200 наборов данных из таких областей как медиа, география, публикации, правительство, наука, а также междисциплинарных областей [12]. Увеличиваясь как в размерах, так и в тематическом охвате, эти данные привлекают все больше интереса с точки зрения создания на их базе инновационных приложений, включая образовательные ресурсы. Приложения эти обладают одним отличительным свойством – разнородные данные из независимых источников объединяются в системе для преодоления ограничений традиционных СУД (систем управления данными). Помимо вебприложений, использующих LOD (Linked Open Data), появляются возможности создания новых программ и для образования. В этих программных комплексах внутренние источники данных университетов объединяются с внешними в целях расширения и контекстуализации внутренней базы знаний (БЗ) [13].

При создании семантических приложений важно использовать преимущества LD

¹ <http://bibliontology.com>

² <http://vocab.org/aiiso/schema>

³ W3C Recommendation 18 August 2009. URL: <http://www.w3.org/TR/2009/REC-skos-reference-20090818/>

⁴ <http://svn.cetis.ac.uk/xcri/trunk/bindings/rdf/>

⁵ <http://www.w3.org/ns/ma-ont>

⁶ <http://motools.sourceforge.net/event/event.html>

в следующих аспектах:

- динамическое нахождение доступных источников данных,
- цельная интеграция ресурсов из различных источников,
- анализ происхождения и контроль качества информации,
- удобные пользовательские интерфейсы, которые обеспечивают визуализацию, исследование, анализ, а также взаимодействие указанных выше парадигм.

При правильном использовании указанных выше преимуществ семантических технологий можно добиться следующих результатов:

1. На верхнем уровне метаонтология поможет структурировать учебные курсы. Такой механизм, конечно, есть и сейчас в виде учебных программ. Но на практике они не всегда отражают реальность, а часто и пишутся формально, не учитывая самых последних изменений. Выделение подобной структуры в явном виде поможет также выполнять автоматизированную проверку качества курсов за счет использования метрик.

2. На нижнем уровне располагаются образовательные ресурсы – литература, презентации, сайты и т. п. Причем данный уровень формируют, в том числе, и студенты. Тут важную роль играет использование социальных сервисов, следствием чего станет стимулирование передачи опыта и знаний от более опытных студентов к новичкам. Это поможет в реальном времени получить достоверные оценки востребованности электронных учебных материалов.

3. Средний, или прикладной уровень – собственно модель предметной области, призван, с одной стороны, описать значимые взаимосвязи в предметной области, что упростит навигацию по образовательным ресурсам, а с другой – сама онтология является мощным когнитивным инструментом, делающим, вкуче с наглядной визуализацией структуры предметной области в графической форме, процесс обучения более эффективным и интересным.

4. Многомерность модели – онтологический подход по природе своей междисциплинарный, то есть вертикальные связи не доминируют, как в существующих системах

(когда используются главным образом таксономии или иерархии учебных программ), а лишь являются одним из измерений. Количество таких измерений может быть любым: историческое, прикладное, коммерческое, инновационное и любое другое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведен анализ новейших тенденций в области развития информационно-коммуникационных технологий в части Интернет-технологий, их влияния на жизнь современного общества и обучения. Выделены основные факторы, которые необходимо учитывать при построении систем электронного образования нового типа, а именно:

- тенденция к открытию информации и данных в машиночитаемых форматах,
- цифровую социализацию всех процессов жизни общества,
- учет особенностей мировосприятия молодого поколения, в частности, клиповое мышление, включая виртуализацию.

Преодоление негативного влияния указанных факторов на электронное обучение возможно за счет использования современных семантических технологий и онтологического подхода. В статье приводится краткий обзор этих технологий и примеры онтологий для задач образования.

Помимо решения задач, поставленных в начале статьи, онтологический подход к представлению образовательного контента позволяет достичь еще одной важнейшей для современных университетов цели – создание и внедрение системы измерения ключевых показателей эффективности (КПЭ). Это становится возможным за счет того, что вся информация, используемая в обучении, подлежит онтологическому моделированию, а значит, и представлению в машиночитаемом формате, доступном для семантического поиска и анализа. Такая форма представления информации обладает высокой степенью гибкости и масштабируемости, что позволяет учитывать последние изменения в образовательном процессе и своевременно обновлять образовательные базы знаний.

Литература

1. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем // Новости искусственного интеллекта, 2003. № 2.
2. Гаврилова Т.А. Онтологический инжиниринг / В сб.: докладов Восьмой научно-практической конференции «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями» (РБП-СУЗ-2005). М., 2005. С. 79–82.
3. Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учебное пособие. СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008.
4. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды / Материалы II международной научно-технической конференции OSTIS 2012 (Минск, 16– 8 февраля 2012 года).
5. Mathieu d'Aquin. A REPORT ON: Linked Data for Open and Distance Learning. June 2012. Prepared for the Commonwealth of Learning.
6. Gartner's Software Hype Cycles for 2012 by Abel Avram on Aug 24, 2012. Электронный ресурс: <http://www.infoq.com/news/2012/08/Gartner-Hype-Cycle-2012> (дата обращения 01.11.2013).
7. Florian Bauer, Martin Kaltenböck. Linked Open Data: The Essentials. Электронный ресурс: <http://www.semantic-web.at/LOD-TheEssentials.pdf> (дата обращения 01.11.2013).
8. Breslin J., Passant A., Vrandeuiж D.: Social Semantic Web. In: Domingue J., Fensel D., Hendler J. (Ed.) Handbook of Semantic Web Technologies: SpringerReference (www.springerreference.com). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. DOI: 10.1007/SpringerReference_300528 2012-01-19 20:52:35 UTC.
9. Taibi D., Gentile M., Seta L. A semantic search engine for learning resources //Third International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education. 2005.
10. Sebastian Ryszard Kruk, Bill McDaniel (Ed.): Semantic Digital Libraries. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
11. Dietze, Stefan; Gugliotta, Alessio and Domingue, John. Towards adaptive e-learning applications based on Semantic Web Services. In: Griffiths, David; Koper, Rob and Liber, Oleg eds. Service Oriented Approaches and Lifelong Competence Development Infrastructures. Bolton: The Institute for Educational Cybernetics, University of Bolton, 2007. P. 75–83.
12. Keith Alexander and Michael Hausenblas. Describing linked datasets – on the design and usage of void. In In Linked Data on the Web Workshop (LDOW 09), in conjunction with WWW '09, 2009.
13. Анна Госсен, Петер Хаазе, Михаэль Шмидт. Разработка Linked Data приложений на примере The Information Workbench. Труды междунар. Конф. KESW2011. СПб.: НИУ ИТМО, 2011. С. 19–26.

ONTOLOGICAL APPROACH IN E-LEARNING: OPEN, FLEXIBLE, LINKED AND INTERACTIVE

Abstract

The paper presents a conceptual analysis of current trends in e-learning, explores factors influencing the development of educational online platforms and the rationale for the use of the ontological approach, as in the structuring of educational content and access to a learning repository, as well as analysis of technological trends and analysis of main tasks effectively applying the ontological approach to e-learning. As an illustration of the practical issues authors describe existing ontologies for e-learning systems of a new type.

Keywords: e-learning, online learning, ontology, linked learning, OWL, RDF.

Васильев Владимир Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
ректор НИУ ИТМО,
vasilev@mail.ifmo.ru

Муромцев Дмитрий Ильич,
кандидат технических наук,
доцент НИУ ИТМО,
mouromtsev@mail.ifmo.ru,

Стафеев Сергей Константинович,
доктор технических наук, профессор,
декан ЕНФ НИУ ИТМО,
stafevs@yahoo.com.



Наши авторы, 2013.
Our authors, 2013.

