



Долятовский Валерий Анастасиевич, Заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор экономических наук

Гамалей Яна Валерьевна, доктор экономических наук, профессор, г. Ростов-на-Дону

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССАМ И СИСТЕМАМ ОБУЧЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ

Проведён анализ современных тенденций развития форм представления знаний в системах обучения и образования; показано, что онтологический подход является средством адаптации системы образования к росту объёмов знаний и актуальной необходимостью их структуризации и формализации. Определены результаты и направления развития онтологий в системах образования и технологии разработки онтологий. Формализованы представления предметных областей и выделены онтологии двух видов: предметной области, состоящей из объектов (концептов) и их отношений, выраженных определённой алгеброй, и онтологии второго уровня, содержащей формализованные элементы знаний для решения задач определённой сферы деятельности (компетенции) и их отношения.

Ключевые слова: образование, онтология образования, сущность образования, предметная область, элементы знаний, онтологический инжиниринг, виртуальные обучающие среды, управление знаниями, уровень развития образования, экономика знаний, средства создания онтологий.

Введение

По заключению экспертов [2], до 40% прироста ВВП развитые страны получают в результате эффективной системы образования. Так, если в США в 1955 г. вклад интеллектуальной сферы в ВВП составил 25%, то в 1980 г. — более 60%, в 2007 г. — более 70%. На сегодняшний же день вклад этой сферы

в ВВП США составляет около 78%. В связи с этим высшее образование должно развиваться непрерывно и эволюционно — от организации довузовской подготовки, бакалавриата, специалитета, магистратуры до аспирантуры, докторантуры и т.д., что будет способствовать максимальному накоплению и развитию интеллектуального человеческого капита-



Рис. 1. Составляющие показателя экономики знаний РФ

ла в обществе. В этом — важнейшее условие адаптивности воспроизводства интеллектуального капитала в данной сфере. Для повышения индекса экономики знаний РФ (рис. 1) необходим новый подход к организации процессов обучения.

Зависимость неупорядоченности в экономике (H) от использования знаний (I) и от эластичности энтропии по отношению к увеличению знаний работников (s) формализована в виде:

$$H = (1 - I)^s. \quad (1)$$

Анализ формулы (1) приводит к выводу, что чем выше квалификация работников I , больше знания закономерностей работы управляемого объекта, тем меньше энтропия (рис. 2).

Применение больших объёмов структурированной информации при высоком уровне управляемости

(высокой квалификации персонала, их умении анализировать информацию, преобразовывать знания в конкретные действия) позволяет уменьшить энтропию, повысить эффективность механизмов управления, при этом прослеживается прямая зависимость уровня инновационной деятельности от уровня подготовки работников. В связи с этим можно сделать вывод, что использование знаний экономически целесообразно, так как повышение информированности лиц, принимающих решения, приводит к снижению экономических потерь в экономике и росту производительности. Значение I работника или руководителя зависит от методов обучения, представления системы понятий предметной области и их отношений.

Основными инструментами повышения качества образовательного

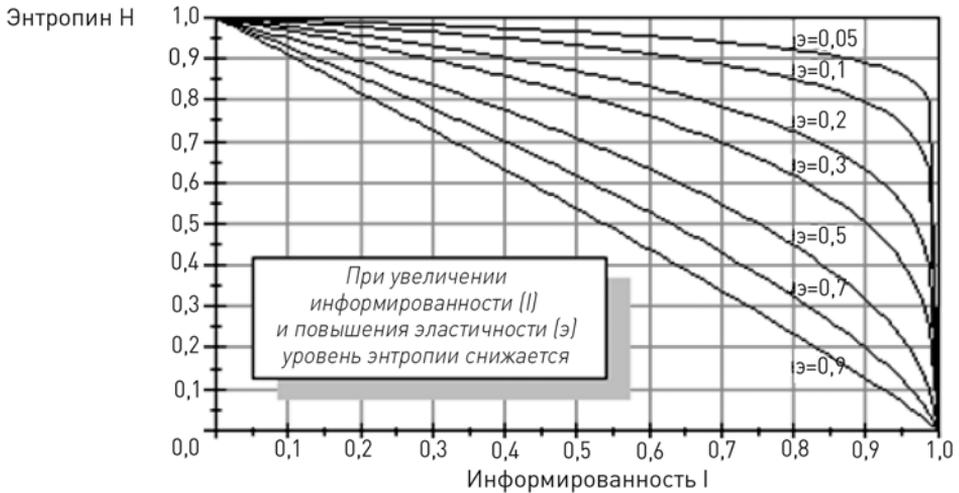


Рис. 2. Зависимость неупорядоченности в экономике от уровня квалификации I

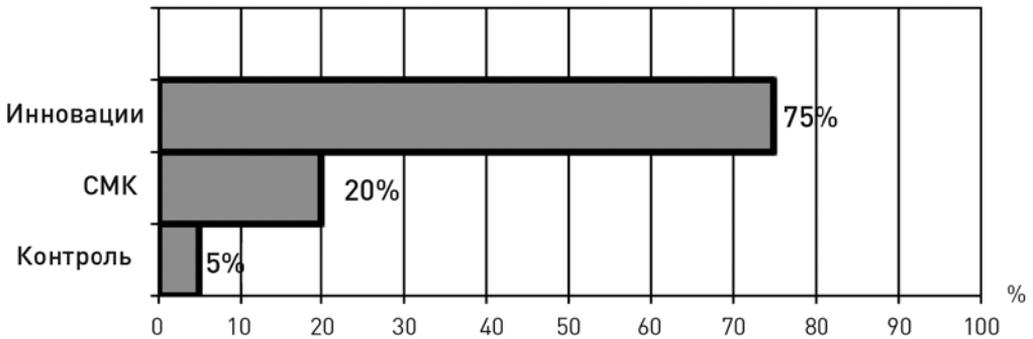


Рис. 3. Факторы повышения качества образовательного процесса

процесса в вузе являются инновационные технологии обучения (структуризация и представление учебного материала, виртуальные обучающие среды, тестовые системы, творческие задания, кейсы и видеокейсы, разработка проектов), система менеджмента качества (СМК), контроль уровня усвоения учебного материала (рис. 3).

Образовательная технология состоит из комплекса методов и образовательных инструментов (различ-

ные виды учебных занятий, инструменты диагностики, текущего и итогового контроля), посредством которых достигаются образовательные цели. Образование становится стратегическим фактором развития страны, роль образовательных технологий возрастает в связи с ростом требований к квалификации и нравственным качествам работников и ростом объемов используемой в экономике информации (по расчётам

В. Шмидта [26], в 2013 г. объёмы научной информации в мире составили 1,5 экзабайта, т.е. $1,5 \times 10^{18}$ байт). Поэтому необходим переход к новым подходам в развитии образования. Предлагается [5,26] расширить философский горизонт осмысления образования, построить онтологию образования с тем, чтобы базировать единые толкования понятий и систему ценностей. Возникло противоречие между существующим уровнем представления знаний и требованиями к системе знаний современного специалиста, что обуславливает необходимость применения онтологий в образовании.

1. Онтологии как средство адаптации системы образования

На основе экспертных оценок получены данные, характеризующие уровни изменений факторов среды (рис. 4), влияющих на систему образования [1].

Правомерно предположить, что уровень неопределённости и изменений среды выявляет потребность в адекватной адаптации воспроизводства интеллектуального капитала. Современные социально-экономические исследования свидетельствуют, что «качество» университета на 60% зависит от качества студентов, на остальные 40% — от библиотек, зданий, преподавателей. Студентам необходимо предоставить обучающую среду с высоким уровнем формализации и понимания учебного материала, системным представлением знаний, обеспечивающим нужное качество подготовки. Непосредственно в учебном процессе система менеджмента качества проявляется в виде следующей взаимосвязи (рис. 5).

Образовательная технология состоит из комплекса методов и образовательных инструментов (различные виды учебных занятий, инструменты диагностики, текущего и итогового

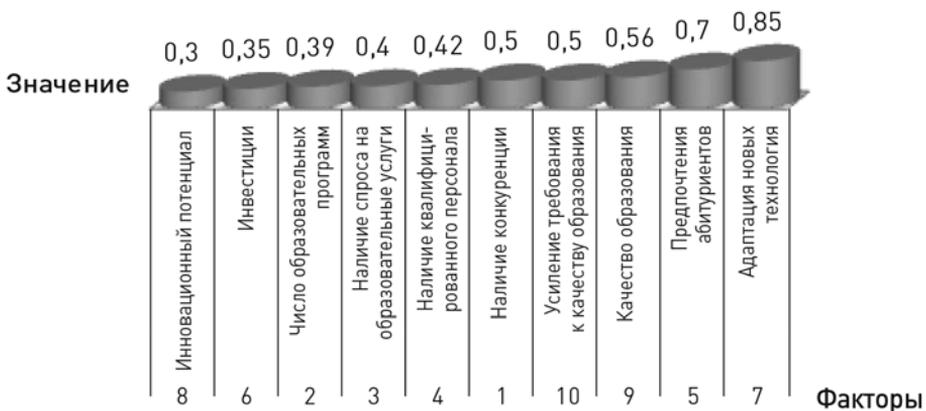


Рис. 4. Оценки уровней изменения факторов внешней среды высшего образования

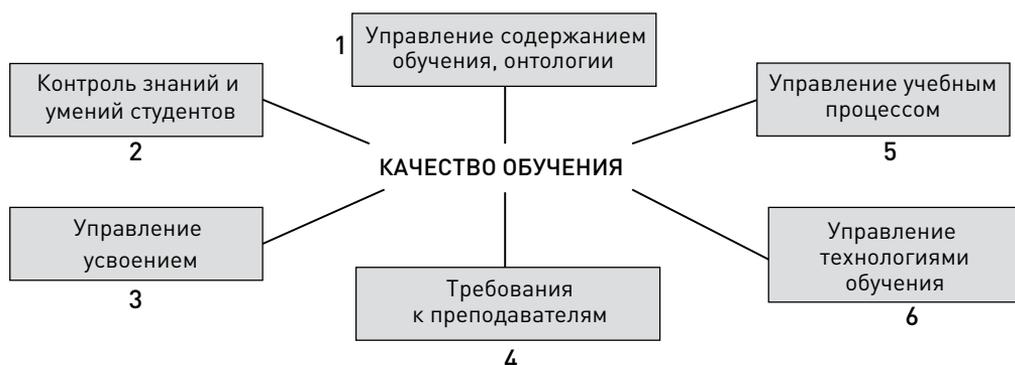


Рис. 5. Составляющие системы менеджмента качества обучения

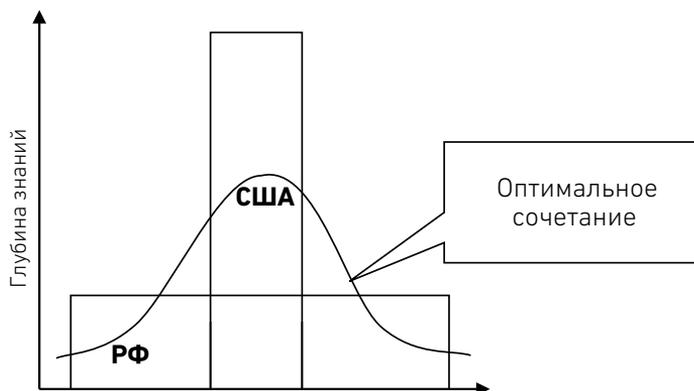


Рис. 6. Соотношение систем образования РФ и США

контроля слушателя), посредством которых достигаются образовательные цели.

Одной из наиболее сильных сторон российской образовательной системы всегда признавалась фундаментальная подготовка интеллектуальных человеческих ресурсов в ведущих научных школах. Если представить систему обучения в координатах «широта — глубина знаний», то для систем обучения в РФ и США будем иметь разные графики (рис. 6). Для

нашей системы сейчас необходимо углубление знаний, представление их в структурированной, удобной для восприятия форме, которой являются онтологии. Обучаемый в процессе обучения строит собственную онтологию, систематизируя и углубляя свои знания и моделируя предметную область дальнейшей деятельности. Совокупность накопленных определений, понятий и знаний относительно некоторой области деятельности и называют онтологией.

Знания в онтологию поступают как в процессе обучения в виде понятий (объектов) и их связей, так и формируются «внутри» при осмыслении данных. Процесс извлечения знаний из данных определяет круг задач такой новой развивающейся области, как Data Mining.

Использование онтологий в обучении является адаптивной реакцией на рост объёмов знаний и требований к образованию. Адаптивной считают систему, которая может приспосабливаться к изменениям внутренних и внешних условий. Характерным модулем процесса адаптации является рекомбинация, использующая бридинг (селекцию), — способ, посредством которого в природе идёт рекомбинация агентов. Рекомбинация — самый эффективный двигатель инноваций и в природе, и в человеческой деятельности. Рекомбинация лежит в основе гене-

рации идей и создании новых технологий. Комбинация новых идей и новая структура знаний создают новые спецкурсы продвинутого характера. Новая комбинация характеристик в морфологическом ящике создаёт новое изделие. Новая комбинация стратегических элементов формирует новую, более эффективную стратегию развития страны [2]. Соответственно, адаптивный механизм управления эффективностью организации высшего образования как хозяйствующего субъекта (рыночный подход) состоит из двух контуров управления: стратегического и оперативно-тактического (рис. 7). Для адаптивного управления востребованы прецеденты, аккумулирующие опыт принятия решений. Правомерно предложить использование прецедента и формирование базы прецедентов в рамках организации высшего образования.



Рис. 7. Адаптация системы образования к изменениям среды

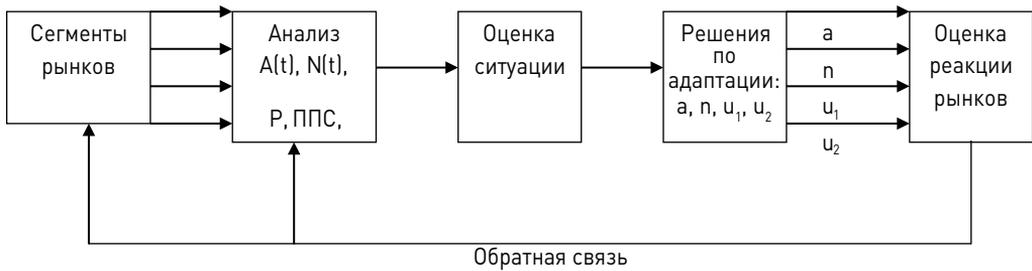


Рис. 8. Схема адаптивного управления организацией высшего образования

Для реализации адаптивного управления образованием можно применить следующую схему получения и обработки информации и принятия адаптивных решений (рис. 8).

Организация высшего образования осуществляет мониторинг сегментов рынков, анализирует их отдельные параметры и формирует оценку ситуации. На основе анализа состояний внешней и внутренней среды выбираются адаптивные решения a , n , u_1 , u_2 , которые вуз реализует и оценивает реакцию среды. На основе этих оценок накапливается опыт, решения улучшаются на основе обратной связи.

Получение конкурентных преимуществ требует определённых затрат, поэтому выбор оптимального показателя конкурентоспособности зависит от значений отдельных характеристик образования X_1, X_2, \dots, X_n . То есть если имеются показатели конкурентоспособности g_1, g_2, \dots, g_n с эффективностью e_1, e_2, \dots, e_n , то задача оптимизации имеет вид:

$$I_{\text{кс}} = (e_1 g_1 + e_2 g_2 + \dots + e_n g_n) \rightarrow \max \quad (2)$$

при ограничениях

$$g_1^- \leq g_1 \leq g_1^+; g_n^- \leq g_n \leq g_n^+;$$

$$\sum c_j \times g_j \leq C_{\text{доп.}};$$

$$g_1 \dots \dots g_n \geq 0,$$

где $C_{\text{доп.}}$ — допустимые затраты на обеспечение конкурентоспособности, определяемые финансовым состоянием организации;

c_j — удельные затраты роста j -й характеристики конкурентоспособности.

Поставленную задачу можно свести к задаче линейного программирования. Таким образом, применение онтологий в образовании является средством адаптации к изменениям внешней и внутренней среды.

2. Факторы развития системы образования

Как показывает анализ [1, 4, 5, 7, 14], существующие подходы и технологии образования имеют ряд недостатков:

- знания в существующих учебниках недостаточно чётко структурированы;

- отсталость и сухость изложения, отрыв от передовой практики знаний;
- в разных источниках разные толкования основных понятий, студентам и школьникам приходится самим устанавливать связи понятий и методов;
- недостаточная конструктивность и систематичность знаний, необходимых для разных видов деятельности;
- недостаточно систематизированы многие дисциплины;
- существует проблема установления взаимосвязей понятий, методов, моделей;
- недостаточно используются онтологии в педагогическом образовании.

Для распространения цифровой культуры и цифровых объектов в Европе используется подход, ориентированный на онтологии [39, 50]. Разработка и распространение онтологий, связанных с областью педагогического обучения, повышает качество образования. Онтологический подход стремится уменьшить терминологическую путаницу за счёт того, что основные термины и концепции образования будут изначально определены и восприняты всеми участниками сообщества. В результате создаётся непротиворечивый и последовательный словарь для определения концепций образования. В российском образовании онтологический подход в основном по отношению к цифровым ресурсам развивается в работах Т. Гавриловой [5, 6], А.В. Манцивода и В.С. Ульянова [30].

Факторами развития системы образования является структуризация и систематизация знаний, формализация новых знаний, повышение конструктивности и информатизации процессов обучения, применение онтологического подхода в учебном процессе [6, 8, 33, 34].

3. Разработка онтологий систем образования

Определение и построение онтологии включает анализ предметной области, выделение базовых онтологических элементов (объектов, их атрибутов, отношений и процессов), проведение операций над этими онтологическими элементами. Они помогают обеспечить одинаковое понимание всеми пользователями смысла применяемых при решении терминов, их атрибутов и отношений между ними (рис. 9).

Построение портала на основе онтологий требует разработки специальной методики, считают в [3, 6, 8, 28], однако пока нет методики оценки онтологии с точки зрения качества структуры, а описанные метрики не носят всестороннего характера. Онтологии педагогических теорий могут являться начальной стадией проекта применения онтологического подхода как инновации в педагогическом образовании.

Каждый специалист может иметь свои собственные онтологии, частные концептуальные модели развиваются и формируются в контексте соци-

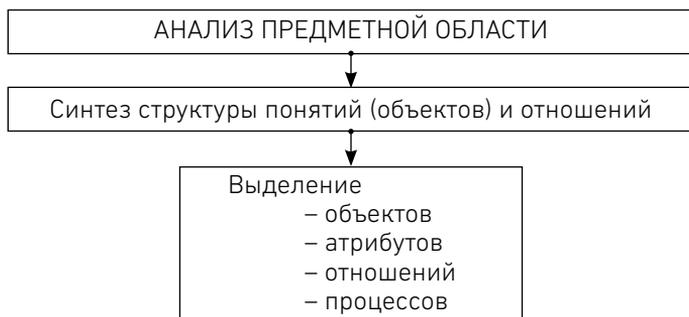


Рис. 9. Последовательность разработки онтологий

ального взаимодействия. В качестве теоретического основания для понимания развития личных и групповых онтологий используется культурно-историческая теория.

Одним из самых эффективных способов решения задачи модельного представления знаний является онтологический анализ предметной области. К числу наиболее разработанных онтологий относятся модели содержания учебных дисциплин. Например, содержание математики с различной степенью детализации описывают несколько онтологий, в частности онтология проекта ScienceWISE [29], онтология по естественным наукам и технологиям [8]. В [6, 24] описана онтология содержания учебного курса, используемая для анализа знаний обучающегося.

Другое направление исследований — онтологический анализ структуры образовательного контента. В работе [7] предложена онтология дистанционного курса, основанная на семантических связях между знаниями. В [25, 26] дан пример иерархии классов онтологии произвольно-

го учебного курса, а также приведены фрагменты предметных онтологий на языке OWL. Способ систематизации мультимедийного контента электронного курса на основе онтологического подхода описан в [9, 25, 28]. В докладе [5] рассмотрены онтология, отображающая семантическую структуру учебной информации, и разработанное прикладное приложение, поддерживающее визуализацию данной онтологии. Общая цель перечисленных исследований состоит в унификации структуры образовательного контента, что позволяет более эффективно осуществлять интеграцию электронных учебных курсов, созданных в разных средствах разработки. Вместе с тем в данных работах отсутствует упоминание о полноте такого представления структуры образовательного контента. Созданы онтологии «Электронное обучение» [7], в СибГТУ разработаны онтологии ряда учебных курсов [29], развивается агентный инструментарий для построения онтологий [26]. Достаточное число работ посвящено онтологическому анализу характеристик обучающихся. Например, в [27]

описана онтологическая модель обучающегося, на основе которой строится индивидуальная траектория обучения. Предложенная в [7] онтологическая модель обучающегося отражает структуру и динамику формирования профессиональных знаний. Главный недостаток данных моделей — их неполное соответствие компетентностному подходу, являющемуся приоритетным в модернизации российской системы образования. В [7] представлена онтология обучающихся, которую предлагается использовать для классификации обучающихся и моделирования их поведения в системе управления обучением. В [8] описаны онтологические модели студентов и учебных материалов. На основе правил вывода студенты объединяются в группы, и им предлагается соответствующий контент. Однако эти публикации имеют один общий недостаток — они не отражают специфику современной российской системы образования.

Применение онтологического подхода к созданию систем управления обучением описано в работе [16]. Концепции и архитектура «семантической паутины» как основы для функционирования онтологически ориентированной системы управления обучением представлены в [9]. В работе [10] даются теоретическое обоснование и описание практического использования агента-онтологического подхода для обеспечения семантической интероперабельности открытых систем образования взрослых. В [11] описано использование онтологической

модели процесса электронного обучения при проектировании средств представления, хранения и обработки в информационной системе экспертных знаний. Проблема онтологий и использования их в компьютерных системах рассматривается в [12]. Данные онтологии характеризуются ограничениями анализируемых концептов и их использованием. Их фрагментарный характер не позволяет составить целостное представление об электронном обучении. Для интеграции знаний об электронном обучении в единую модель необходимо объединение существующих онтологий на основе некоторой базисной. Отсутствие базисной онтологии затрудняет процесс объединения существующих онтологий, зачастую несовместимых между собой.

Онтология «Электронное обучение» [9, 26] в отличие от известных онтологических моделей фиксирует и структурирует знания, общие для предметной области электронного обучения. Это позволяет многократно использовать её внутри предметной области в качестве основы единой модели знаний, благодаря чему обеспечивается логическая согласованность между отдельными онтологиями при объединении. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования онтологии «Электронное обучение» в качестве руководства для информационных обучающих систем [25].

Онтологии в сфере образования имеют ряд применений (рис. 10):

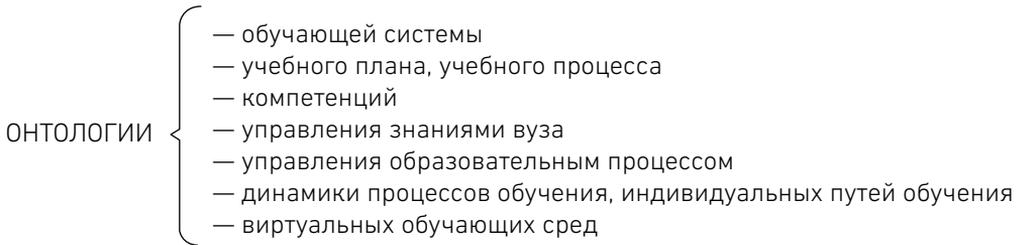


Рис. 10. Примеры использования онтологий в учебной практике

Практика построения онтологий очень близка практике создания карт знаний и диаграмм связей. Отличия, которые проявляются при использовании редакторов онтологий, — более жёсткий характер наименований и связей. Нельзя повторно создать класс, если он уже создан. Редактор отслеживает непротиворечивость создания онтологий. Стали применяться процедуры коллективного создания онтологий; например, решены проблемы выработки общей онтологии в ходе проекта UbiPlace и в ходе проекта «конструктор выпускника 2020». Преимуществом онтологического инжиниринга является системный подход к структуризации знаний. При этом достигаются: системность — онтология представляет целостный взгляд на предметную область; единообразие — знания в единой форме гораздо лучше воспринимаются и воспроизводятся; научность — построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи во всей их полноте. Стоит отметить, что онтология не только цель, но и средство формирования структур знаний. Важность онтологическо-

го подхода в системах образования обусловлена также тем, что знание, которое не описано, не тиражировано и не возрастает, становится устаревшим и бесполезным. Напротив, знание, которое структурируется, распространяется, приобретает и обменивается, генерирует новое знание. Онтология формирует общее представление об объекте исследования, фиксирует категориальный аппарат концепции (теории). Развитые онтологические системы строятся на основе следующих принципов:

- 1) формализации, т.е. описания объективных элементов действительности в единых, строго определённых образцах (терминах, моделях и др.);
- 2) использования ограниченного количества базовых терминов (сущностей);
- 3) внутренней полноты и логической непротиворечивости.

В отличие от обычного словаря для онтологической системы характерно внутреннее единство, логическая взаимосвязь и непротиворечивость используемых понятий. Трактовки всех используемых терминов даются

в рамках единого методологического подхода, т.е. явно описанных принципов, аксиом или убеждений создателей онтологии. При этом используемые категории должны охватывать все явления и процессы заданной предметной области. Таким образом, онтология представляет собой концептуальный фундамент теории, её понятийную основу. *Независимо от вида онтология* должна включать словарь терминов и некоторые спецификации их значений. При таком подходе онтология похожа на тезаурус. На метауровне онтология является *разновидностью сетевой модели знаний о ПрО*. Эта модель может быть статической или динамической. Например, в сфере географии в качестве основных элементов могут рассматриваться города. В качестве свойств объектов могут быть взяты экономические и социальные характеристики городов, расстояния можно рассматривать в качестве отношений между городами: операции будут заключаться в измерении расстояний и изучения их влияния на процессы взаимодействия и обмена между городами. Эта же онтология может использоваться для построения концептуальной модели, на базе которой в дальнейшем создаются обучающие игры, подобные SimCity или Цивилизации. Онтологии используются для построения концептуальных моделей предметной области. Концептуализация — это процесс перехода от представления предметной области на естественном или

ограниченном естественном языке к точной спецификации этого описания на некотором формальном языке, ориентированном на компьютерное представление. *Web-онтологией* зывают онтологию, которая либо доступна на одном из web-узлов Internet, либо используется в рамках корпоративного портала. Информационные онтологии создаются всегда с конкретными целями — для решения прикладных задач.

4. Технология разработки образовательных онтологий

Онтологический инжиниринг, т.е. проектирование и разработка онтологий, не является тривиальной задачей. Он требует от разработчиков профессионального владения технологиями инженерии знаний — от методов извлечения знаний до структурирования и формализации [5] (рис. 11).

Разработка онтологии предусматривает несколько этапов [4, 5, 18]:

- определение отрасли и масштаба онтологии;
- рассмотрение вариантов повторного использования существующей онтологии;
- перечисление важных терминов в онтологии;
- определение классов и иерархии классов;
- определения свойств классов — слотов;
- определение факетов свойств;
- создание экземпляров.

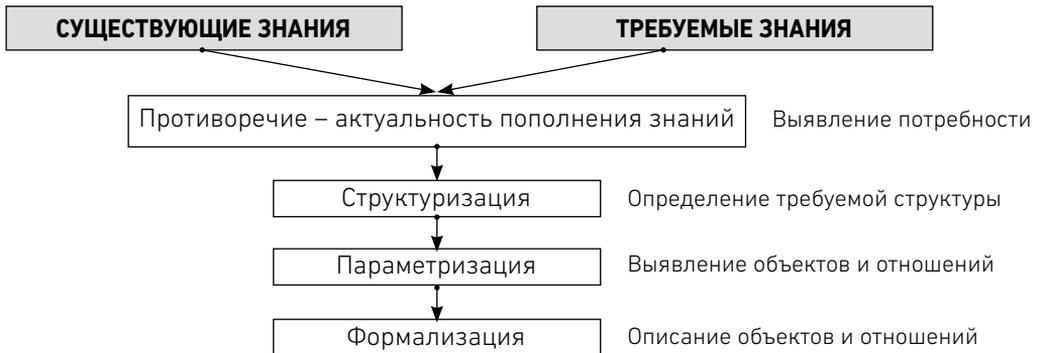


Рис. 11. Общий подход к разработке онтологий

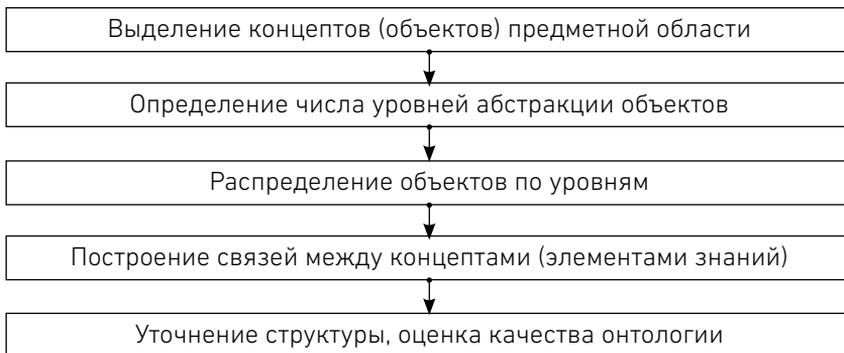


Рис. 12. Алгоритм онтологического инжиниринга

Онтологический инжиниринг должен и может стать основой всего процесса структурирования комплексных систем автоматизации, так как он объединяет две основные технологии проектирования больших систем — объектно-ориентированный и структурный анализ. Недаром онтологический анализ вошёл в стандарт IDEF5, который является основным средством спецификации и моделирования бизнес-процессов.

Само построение онтологии, иначе визуальный онтологический инжиниринг, является мощным когнитивным

инструментом, позволяющим сделать видимыми структуры корпоративного знания (рис. 12).

Структура онтологии включает элементы онтологий [9,12]: **индивиды** (individuals) — это основные компоненты онтологии нижнего уровня. Индивиды могут представлять собой как физические объекты (люди, дома, планеты), так и абстрактные (числа, слова). Одной из главных целей онтологии является классификация индивидов. Понятия (concepts) или Классы (classes) — абстрактные группы, коллекции или наборы объектов. Они



могут включать в себя экземпляры, другие классы либо же сочетания и того, и другого (пример: понятие «люди», вложенное понятие «человек»). **Атрибуты:** объекты в онтологии могут иметь атрибуты. Каждый атрибут имеет имя и значение и используется для хранения информации, которая специфична для объекта и привязана к нему. **Отношения:** обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект. Категории-определения отдельных групп экземпляров. Например, категория Молекула выделяет группу, к которой относятся все молекулы. Категория Человек выделяет группу, в которую попадают все люди. В категории могут содержаться подкатегории: например, машина будет подкатегорией движущихся средств. При этом всё, что находится внутри подкатегории, автоматически попадает и в категорию более высокого уровня.

В настоящее время для решения вышеперечисленных проблем представляется целесообразным использование технологий Semantic Web, потому что Semantic Web предполагает наличие у любой информации, находящейся в сети, связанный с этой информацией точный смысл, который нельзя было бы перепутать даже в случае совпадения фраз или слов, встреченных в разных контекстах [31]. Фактически это означает, что любая информация связывается с некоторым неотделимым от неё контекстом.

Примеры онтологий. Рассмотрим построение онтологии работы менеджера, в которой описание ситуации отображается на решения [18, 20].

ПЕРВЫЙ ЭТАП. Построение словаря объектов (менеджерских существительных) и их атрибутов, он представляет собой классификационную таблицу, структура которой соответствует фреймовому представлению знаний (рис. 13).

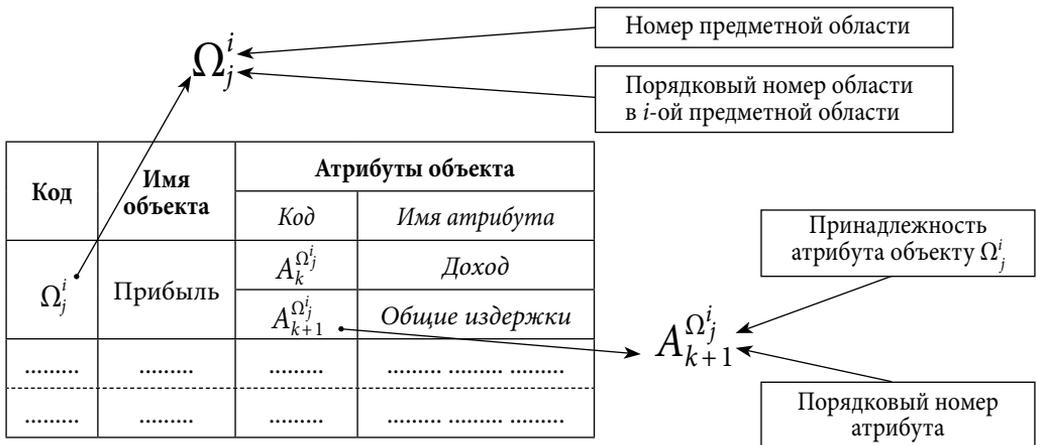


Рис. 13. Организация модели предметной области



При записи конструкция объекта представляет собой следующую структуру: ИМЯ_ОБЪЕКТА_i {АТТРИБУТ₁,...,АТТРИБУТ_N}. Это означает, что у объекта с именем ИМЯ_ОБЪЕКТА_i имеется N атрибутов, перечисленных в фигурных скобках. Объекты и атрибуты будут выглядеть следующим образом:

1. ПРИБЫЛЬ {ДАТА, ДОХОД, ИЗДЕРЖКИ}.
2. ДОХОД {ЦЕНА, ОБЪЕМ_РЕАЛИЗАЦИИ}.
3. ИЗДЕРЖКИ {ПОСТОЯННЫЕ_ИЗДЕРЖКИ, ПЕРЕМЕННЫЕ_ИЗДЕРЖКИ} и т.д.

ВТОРОЙ ЭТАП. Второй составляющей семантической сети является словарь менеджерских глаголов (т.е. элементов процедурных знаний, формирующих онтологию 2 уровня). Структура словаря глаголов (или элементов знаний) по наличию различных иерархических связей проще, чем словарь объектов и атрибутов.

Онтология предметной области описывает отношения объектов с помощью алгебры вида: ПРИБЫЛЬ = ДОХОД — ИЗДЕРЖКИ;

$$\text{ДОХОД} = \text{ЦЕНА_ПРОДАЖИ} \times \text{ОБЪЕМ_РЕАЛИЗАЦИИ} \text{ и т.д.}$$

ТРЕТИЙ ЭТАП. Используя содержание онтологии процедур и онтологии предметной области, можно перейти к непосредственному проектированию семантической сети (рис. 15).

Такая структура онтологий позволяет описывать практически любые знания и осуществлять логические выводы, что повышает эффективность процесса обучения.

5. Формальное представление онтологий

Модель онтологии O задаёт тройка: $O = (X, R, \Phi)$, где X — конечное непустое множество концептов предмет-

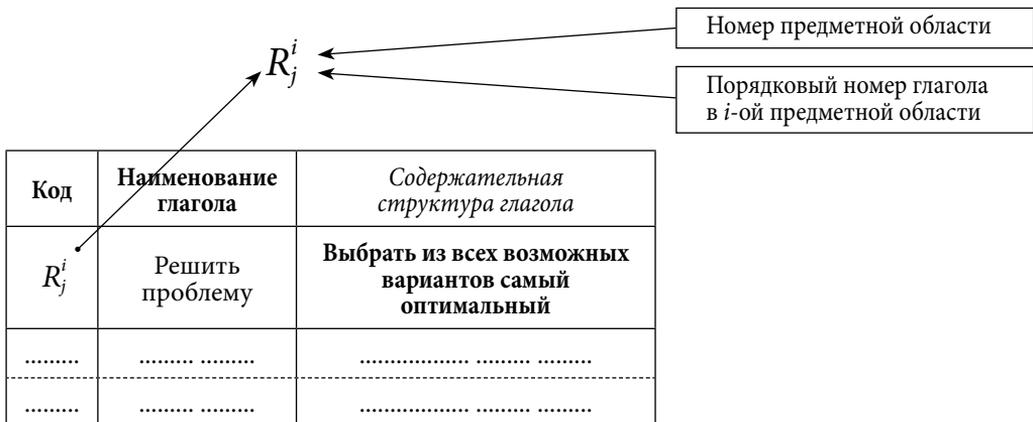


Рис. 14. Структура онтологии процедурных знаний в онтологии системы ИНТЕЛАС [28]

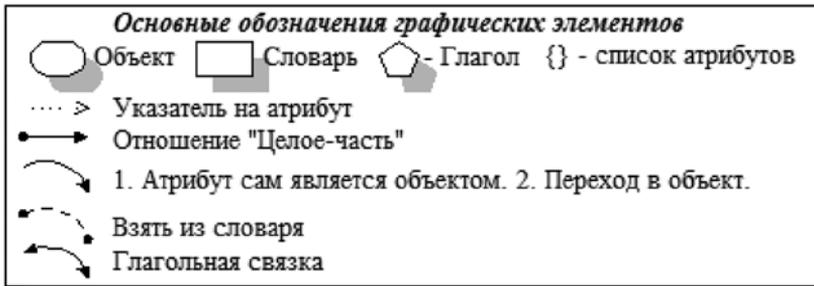


Рис. 15. Формирование онтологии в форме семантической сети

ной области (ПрО), которую представляет онтология; R — конечное множество отношений между концептами; Φ — конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и (или) отношениях. Эта модель является разновидностью сетевой модели знаний [10, 15, 20, 41]. В информатике онтология даёт схемы концептуализации знаний, где в виде концептов используются объекты реального мира и связи между ними. Формально онтологию области деятельности специалиста можно описать шестёркой величин:

$$O = \langle T, S, Z, EZ, S_{EZ}, R \rangle \quad (3),$$

где T — множество термов (объектов), характеризующих предметную область;

S — множество семантических связей в предметной области;

Z — множество профессиональных задач, решаемых специалистом;

EZ — множество элементов знаний, применимых для решения задач Z ;

S_{EZ} — связи применяемых элементов знаний EZ ;

R — результаты решения профессиональных задач.



Онтология конкретной задачи состоит из набора объектов — базисных термов и их связей и применяемых элементов знаний (рис. 3). Знания — это совокупность сведений, образующих целостное описание, соответствующее некоторому уровню осведомленности об описываемом предмете, событии, проблеме и т.д. Кроме того, знания обладают таким свойством, как активность, то есть они не являются статическим элементом, а видоизменяются с течением времени и позволяют выводить из них новые знания.

Специалист в своей профессиональной деятельности решает ряд задач:

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\} \quad (4).$$

Пространство этих задач формирует поле деятельности P [18, 25]. Специалист использует набор терминов (концептов) W_{jj} , связанных с задачами Z_i (онтология 1 уровня — ПрО) и элементы знаний $\mathcal{E}Z_1 \dots \mathcal{E}Z_k$, которые объ-

единяются в классы знаний EZK (процедурная онтология второго уровня, рис. 4) [21, 22]. Онтологический подход позволил решить комплекс задач структуризации и систематизации знаний [8, 9], разработаны программы построения моделей предметных областей [18], деятельность специалиста формализована на основе объектно-ориентированной технологии [9, 24]. Однако существующие онтологии описывают в основном предметные области знаний, не рассматривая структур и отношений элементов знаний. Поэтому особенно актуально изучение и построение онтологий второго порядка, описывающих структуры элементов знаний.

Деятельность специалиста можно рассматривать как решение комплекса профессиональных задач Z на основе использования модели предметной области ОН1 и комплекса элементов знаний ОН2 (онтологии второго порядка, рис. 16).

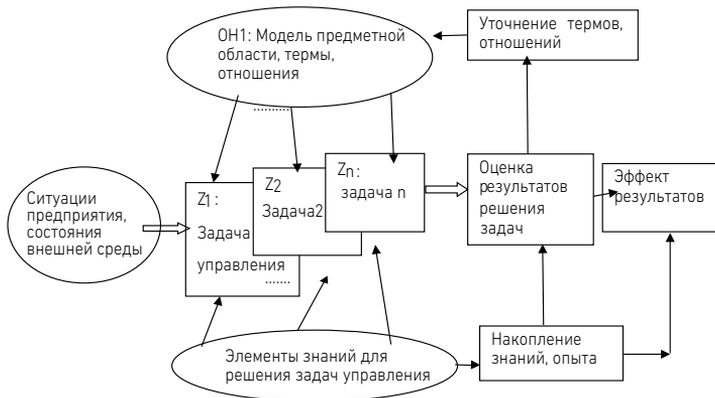


Рис. 16. Схема профессиональной деятельности менеджера

Функциональное назначение онтологического проектирования процесса обучения состоит в формализации и применении элементов знаний, необходимых будущему специалисту для решения профессиональных задач. Онтология учебной дисциплины состоит из модели предметной области и онтологии второго порядка, включающей модели принятия решений в различных ситуациях (элементы знаний). Например, элементы знаний прикладной экономики позволяют при вводе исходных данных решать комплекс задач экономического управления фирмой, представленных на рисунке 16. В основе построения онтологии второго порядка лежит формализация и построение про-

граммных модулей решения отдельных задач принятия экономически обоснованных решений менеджером на основе общей методологии (рис. 17). Структура модульной системы представлена ниже.

Пользователь онтологии определяет, какую задачу ему нужно решить для принятия решения, и вводит необходимые исходные данные, которые ему указывает система. Далее он выбирает требуемый модуль. Программная система [24] включает 16 модулей (их состав можно расширять при получении новых знаний, т.е. сделать систему развивающейся базой знаний), программный комплекс даёт возможность получить расчётные значения управляющих переменных,

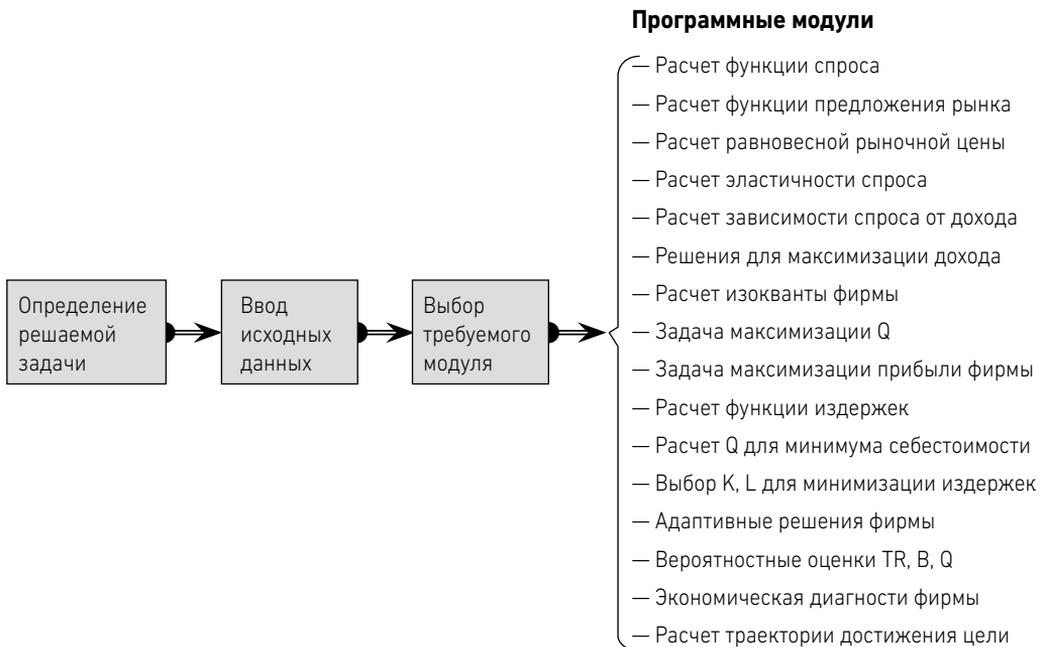


Рис. 17. Структурная схема программных модулей



обеспечивающих желаемые результирующие экономические показатели. Методы имеют ограничения, определяемые набором апробированных на практике элементов прикладных знаний, применяемых при принятии экономических решений менеджером.

Концепты позволяют идентифицировать элементы знания. Концепты (их ещё называют *объектами*) обычно формируют семантическую сеть отношений:

- композиции («состоит из...»)
- специализации (обобщения понятий)
- ассоциации («связан с...»)

Реальные данные в экономике имеют структуру, состоящую из объекта ω и предикатов P разных типов: времени, места, назначения и т.д.:

$$D = \omega_k P_t P_p P_n \dots \quad (5),$$

так что при формировании базы данных необходимо к объектам добавлять нужные предикаты и на этой основе производить вычисления.

6. Разработка виртуальных обучающих сред на основе онтологий

При формировании компетенций для решения отдельных профессиональных задач необходимо сформировать в сознании обучаемого семантическую структуру предметной области и дать навыки выбора и применения необходимых элементов знаний. То есть учебный план должен фор-

мироваться на основе декларативных составляющих в виде модели предметной области и процедурных знаний на уровне наборов элементов знаний, которые должны формировать систему навыков в спецкурсах. Эта концепция реализована при проектировании виртуальных обучающих сред [9, 15, 17, 19] для разных уровней обучения направления «менеджмент» [9, 19, 22]. Виртуальная обучающая среда представляет собой структуру, состоящую из наборов структурированных спецкурсов, построенных по модульному принципу:

Курс = <Электронный учебник, практикум, кейсы, тесты трёх уровней сложности, видеокейсы и клипы по разделам курсов, тренинги, система автоматизированного контроля> (6).

Систему понятий можно представить как дерево, то есть как ориентированный граф, вершины которого — понятия, а дуги — родовидовые отношения между ними. Иерархически структурированное множество терминов, описывающих предметную область, — это и есть онтология, которая может быть использована как исходная структура для базы знаний в дистанционном обучении. Построение онтологии понятийного состава знаний даёт возможность для последующего использования: создания обучающей и тестирующей системы интерактивных курсов. Понятия систематизированы в ряде курсов в виде модели предметной области:

термы и их соотношения в виде грамматики. База знаний имеет вид:

$$BZ = \langle EZ, S_{EZ}, R_{ez/z} \rangle \quad (7),$$

где $R_{ez/z}$ — отображение профессиональных задач на элементы знаний.

Знаниями являются описания отношений между сущностями и абстрактными понятиями, являющимися конкретными объектами реального мира. Инженерия знаний — совокупность технических приёмов, нацеленных на создание систем, которые предназначены для решения проблем с использованием знаний. Онтологическое описание предметных областей — это разновидность визуальных моделей [8, 27]. Таким образом, онтологии способствуют удобному и эргономичному отражению информации и её содержания.

Для получения онтологии используются различные программные средства, а затем онтологии представляются с помощью специальных языков, таких как OWL (Web Ontology Language) и RDF (Resource Description Framework — модель описания ресурсов). RDF — это абстрактная модель, обеспечивающая способ разбиения знаний на дискретные части. Она является стандартом для кодирования различных видов знаний.

Промежуточный уровень обеспечивает хранение метаданных (коротко говоря, данных о данных) и онтологий, передачу информации для взаимодействия с внутренними и внешними системами, обработку запроса и получение выводов.

Пользовательские приложения обеспечивают доступ пользователей ко всем знаниям в системе. Этот доступ осуществляется в основном с помощью поискового механизма. Чтобы получить данные, необходимо использовать запросы с помощью специальных языков, например SPARQL — Protocol and RDF Query Language. Словарь с определениями, глоссарий, может рассматриваться как онтология с пустым множеством отношений. Простейшая модель онтологии с отношениями строится обычно на основе отношений класс — подкласс. Такие модели часто называются таксономиями, в них реализуются отношения: «принадлежит к классу» («a kind-of» («is-a»)), класс — подкласс; лингвистика: гипоним — гипероним; родовидовое отношение. Они характеризуются свойствами транзитивности и наследования. Для спецификации пространств знаний, охватывающих несколько взаимосвязанных предметных областей (ПрО), предложена модель расширенной онтологии:

$$O_{\text{расш}} = (O_m, \{(O_p, O_z)\}, MB) \quad (8),$$

где O_m — онтология верхнего уровня (метаонтология); O_p — предметная онтология; O_z — онтология задач (элементы знаний, процедуры) ПО; MB — модель машины вывода. Метаонтология От оперирует не зависящими от ПО концептами и отношениями (время, объект, свойство и т.д.). Она изменяется весьма незначительно и может считаться статической.



Поэтому вывод на её уровне достаточно эффективен. Предметная онтология O_p содержит понятия, описывающие конкретную ПО, семантически значимые для неё отношения, а также декларативные и процедурные интерпретации этих понятий и отношений. В онтологии задач O_z в качестве понятий выступают типы решаемых задач, а отношения, как правило, специфицируют декомпозицию задач на подзадачи. Машина вывода начинает работу при активации понятий или отношений, описывающих исходную ситуацию (задачу). Примером современной онтологии может быть онтология анализа данных (рис. 18).

Современное представление об онтологии позволяет сделать вывод о том, что разработка онтологии будет способствовать построению так называемого Семантического Веба (Semantic Web), ведущая концепция которого заключается в переходе от документов, которые «могут быть прочитаны компьютерами», к документам, которые «могут быть поняты компьютерами» [3, 25]. Авторы работы [3] определяют онтологию как ключевую технологию развития Семантического Веба, которая способна сыграть критически важную роль в организации обработки знаний на базе Web [3, с. 422]. Онтология



Рис. 18. Структура онтологии анализа данных

«Электронное обучение» должна интегрироваться с уже созданными онтологиями или создаваемыми в перспективе. Это требование определяет то, что понятия и отношения, закладываемые в эту онтологию, обязаны носить общеизвестный характер и извлекаться из нормативных источников. В связи с этим предлагается строить онтологию в виде формальной таксономии, описывающей терминологию предметной области и отражающей семантические связи между терминами. С целью единой интерпретации знаний о предметной области проведён онтологический анализ нормативной базы, регламентирующей сферу электронного обучения [33]. Выделены ключевые классы онтологии, составляющие общий словарь терминов предметной области. Установлена иерархия классов онтологии «Электронное обучение». Выделенные классы являются необходимыми компонентами электронного обучения в системе образования. Выделены специализации педагогических работников в контексте информационных технологий: преподаватель, инструктор и тьютор. Эти роли соответствуют трём педагогическим процессам: обучение как организация процесса трансляции обучающимся знаний; практика как реализация собственных образовательных задач; образовательная рефлексия как обеспечение процесса самоопределения личности и формирование индивидуальной образовательной траектории. Класс «Средства электронного

обучения» содержит материальные объекты, необходимые для организации образовательной деятельности посредством электронного обучения. Несмотря на то что качество структуры носит отчасти субъективный характер, достижения в области психологии и когнитивной эргономики (области междисциплинарных исследований, изучающей процессы восприятия и понимания интерфейсов, моделей, представлений с точки зрения эргономики) Д. Миллера, М. Вертгеймера, Б.М. Величковского позволяют его оценивать [10, 17, 33]. Немаловажным является и то, что порталы, построенные на основе онтологий, могут являться источником структурированных данных для междисциплинарных исследований и для предоставления машинно-читаемых данных различным приложениям. Таким образом, портал может стать частью движения Linked Open Data, объединяющего данные в открытых форматах представления онтологий OWL и RDF, в которых организации выкладывают в открытый доступ накопленные знания. Однако указанные работы, хотя и являются завершёнными исследованиями отдельных аспектов применения агентного онтологического подхода [26, 35], всё-таки не дают целостного представления о разработке компьютерной онтологии как важной составляющей открытых образовательных систем (рис. 19).

В СибГТУ на кафедре системотехники на базе системы дистанционно-

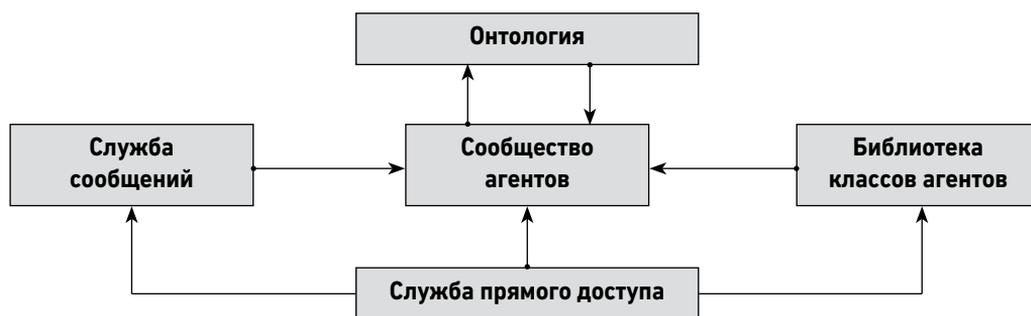


Рис. 19. Архитектура ядра мультиагентной системы

го обучения (СДО) Moodle ведутся разработки интерактивных обучающих курсов, соответствующих требованиям ФГОС ВПО третьего поколения [28, 33]. Разработка курсов ведётся с учетом требований системы МРТО, действующей в вузе, — каждый курс разбит на три модуля. Адрес сайта: <http://moodle.sibstu.su>. Каждая онтология курса содержит онтологию описания структуры курса и предметную онтологию для описания понятий курса. Онтология понятий курса объединяет три темы, соответствующие модулям МРТО, что даёт возможность использовать её как целиком, так и по частям. Все онтологии были встроены в СДО Moodle, их можно просматривать как рисунки графов, а также работать с ними, используя плагин Jambalaya в Protégé.

Для обеспечения семантической интероперабельности открытых систем образования взрослых необходимо разрабатывать такой способ представления знаний, который позволил бы автоматически прорабатывать их программными агентами и веб-сервисами.

Такой способ базируется на использовании агентного онтологического подхода [35]. Как отмечают исследователи Ф. Андон, И. Гришанова и В. Резниченко [3], программный агент — это программная сущность, которая функционирует автономно в конкретной среде, часто — вместе с другими агентами. Среди наиболее известных языков проектирования онтологии называют KIF (Knowledge Interchange Format), DAML+OIL (DARPA Agent Markup Language) и OWL (Ontology Web Language). Однако, как отмечают исследователи Ф. Андон, И. Гришанова и В. Резниченко, наиболее развитым на сегодня языком представления онтологии является OWL (Web Ontology Language). Онтология, построенная на OWL, является последовательностью аксиом и фактов с добавлением ссылок на другую онтологию, которая считается включённой в онтологию.

Web-онтологии в учебном процессе. Одним из преимуществ онтологии является присутствие для них инструментального ПО, обеспечива-

ющего общую доменно-независимую помощь онтологического разбора. Существует полный ряд инструментов для онтологического проектирования, поддерживающих редактирование, визуализацию, документирование, импорт и экспорт онтологий различных форматов, их понятие, соединение, сопоставление [3, 25]. В основе web-онтологий лежат свойства, классы, объекты и ограничения, реализующие представление об объектах как о множестве сущностей, характеризуемых некоторым набором свойств. Эти сущности состоят между собой в определённых отношениях и объединяются по определённым признакам (свойствам и ограничениям) в группы (классы). В результате полного описания объектов и их свойств предметная область будет представлена как сложная иерархическая база знаний, над которой можно будет осуществлять «интеллектуальные» операции, такие как семантический поиск и определения целостности и достоверности данных.

В рамках учебных процессов применение web-онтологий позволит специфицировать основные компоненты учебных дисциплин — лекции, практики, лабораторные работы, используемые учебные материалы, а также обеспечит возможность организации эффективного распределённого доступа к учебным ресурсам путём создания единой базы знаний, которая будет сочетать в себе множество учебных дисциплин и будет фактически распределённой по сети

Интернет, что позволит сделать её независимой от интерпретации конкретного учебного процесса. Роль обучающих систем в таком случае будет сведена к роли интеллектуальных агентов, которые будут производить выборки из баз знаний в зависимости от контекста обучения (также возможно построения агентов для автоматического дополнения или изменения такой базы знаний новой информацией). Другая немаловажная особенность такой системы — возможность строить тестирующие программные системы, которые будут генерировать контрольные задания исходя из семантики описанных онтологий конкретных учебных курсов. Очевидно, что такие системы построения контроля знаний намного превосходят существующие на данный момент тесты, ориентированные на выборку одного из нескольких вариантов ответов. В основу web-онтологии «Учебная дисциплина» были положены основные принципы, используемые для структуризации лекций, практических занятий и т.п. в «обычном» учебном процессе. В соответствии с этими принципами была сформирована структура и выделены основные компоненты учебных курсов. Согласно принципам Semantic Web процесс создания электронных документов разбивается на две части: 1) создание web-онтологии документа, содержащей некоторые термины, понятийные структуры и т.п.; 2) визуализация содержимого онтологии, т.е. получение



ние содержимого онтологии в некотором виде и формате. Таким образом, в web-онтологии определяется смысл используемых понятий, характерных для конкретной дисциплины, т.е. специфицируются объекты предметной области, а с помощью языков трансформаций и форматирования XSLT и XSL-Fo получается визуальное представление содержимого онтологии в необходимом формате, например HTML, DOC и т.п. Язык трансформаций XSLT позволяет выполнять трансформации структурированных документов, написанных на XML-подобных языках, например OWL. Результатом трансформаций является некоторый набор данных, форматирование которого можно осуществить с помощью XSLT-Fo. Язык форматирования XSL-Fo позволяет с большой точностью задавать макет и другую стилевую информацию, относящуюся к содержимому документов. С учётом всех вышеперечисленных принципов и возможностей разработан способ стандартизации элементов образовательного содержимого учебных материалов, так называемого каркаса, для организации электронных материалов учебных курсов с возможностью их последующего вывода как на экран, так и на печать [6, 18]. Данный способ представляет собой шаблон, описывающий структуру электронных материалов учебного курса [9, 27]. Другими словами, создана онтология, которая специфицирует структуру и понятия, характерные для большинства создаваемых учебных курсов.

Предметной областью является вся терминология, используемая для организации учебного курса: тема, лекция, практическое занятие, лабораторная работа, контрольные вопросы, примеры, списки дополнительной литературы, а также все более мелкие компоненты каждого из объектов. Объединив данную онтологию с онтологией конкретной дисциплины, т.е. конкретными данными, соответствующими учебной дисциплине, получена полноценная информационная база, с которой можно проводить различные действия. Например, применив к данной онтологии инструкции визуализации XSL и XSL-FO, мы можем получить на выходе различные представления учебных материалов. В контексте разработки онтологии учебные материалы рассматривались как некоторое упорядоченное множество экземпляров объектов предметной области, отобранных по некоторому критерию, визуализация средствами XSLT которых давала возможность получать разнообразные представления информации в различных форматах, например: гипертекстовая страница или набор таких страниц (HTML); документ XML; документ формата PDF. Таким образом, разработав онтологию «Учебная дисциплина» и заполнив её конкретными данными, соответствующими учебной дисциплине, мы получили эффективное средство для поддержки внедрения дистанционного образования в различные образовательные среды.



Рис. 20. Онтологическое поле современной организации

7. Методики построения онтологии образовательных систем

Образовательная организация является сложной онтологической (понятийной) структурой, состоящей из определённой совокупности сущностей и взаимосвязей (рис. 20). Создание предметных онтологий является стратегией организационного развития (ОР) (Organizational Development) системы образования, т.к. направлено на повышение качества системы и подготавливаемых ею специалистов.

Функционирование такой организации можно изучать и формировать

на основе онтологий сценариев обучения. Каждый сценарий описывает типичную ситуацию внутри системы обучения со специально сформулированной целью. У каждого сценария есть название, параметры и цель. Достижение цели предполагает участие одного или нескольких учеников (агентов, индивидов) в одном или нескольких процессах. Сценарий = ряд действий и коммуникаций индивидов, направленных на достижение конкретной цели. Онтология педагогических сценариев создаётся для того, чтобы: 1) улучшить взаимопонимание между участниками создаваемых систем совместной деятельности; 2) повторно



использовать знание, созданное и разделённое в концептуальной модели, в конкретных моделях и сценариях деятельности; 3) облегчить понимание предметной области в терминах задач и функций; 4) проверить ранее созданные схемы деятельности. Сценарий позволяет также улучшить коммуникацию и взаимодействие между преподавателями и обучаемыми за счёт использования общего языка, понятного всем участникам; объединить различные типы данных; облегчить интерпретацию событий на естественном языке; моделировать семантическое содержание веб-страниц. Формирование онтологий учебных сценариев имеет ряд эффектов: формальное описание обеспечивает однозначное поведение обучающихся систем, в ходе построения концептуальной модели (создание онтологии = построение концептуальной модели, понятной и людям, и программным агентам) мы получаем более глубокое понимание предметной области, сценария и связанных со сценарием концептов; общая информация о сценарии для людей и агентов обеспечивает возможность повторного использования знаний; построение онтологии поддерживает создание каталога учебных сценариев и конструирование новых учебных сценариев; разделение предметной области и элементов знаний в онтологиях облегчает более глубокое понимание предметной области деятельности.

Существует много предложений по методикам разработки онтологии

[5—8, 28]. Наиболее известен стандарт онтологического исследования IDEF5, подготовленный фирмой Knowledge Base Systems, Inc. в качестве проекта национального стандарта США (1994). Процесс построения онтологии в рамках IDEF5 состоит из пяти основных этапов:

1. Изучение и систематизация начальных условий. Этот этап устанавливает основные цели и контекст разработки онтологии, а также распределяет роли членов проекта.
2. Сбор и накопление данных для построения онтологии.
3. Анализ и группировка собранных данных для облегчения согласования терминологии.
4. Начальное развитие онтологии. На этом этапе формируется предварительная онтология на основе систематизированных данных.
5. Уточнение и утверждение онтологии.

Для поддержки процесса построения онтологии в IDEF5 определены специальные онтологические языки: схематический язык (Schematic Language — SL); язык доработок и уточнений (Elaboration Language — EL). Язык SL является наглядным графическим языком диаграммного типа, предназначенным для формирования начального представления онтологии, а также дополнения существующих онтологий. Язык EL — структурированный текстовый язык, позволяющий детализировать элементы

онтологии (структурировать элементы концептуализации). В стандарте IDEF5 предусмотрены четыре вида схем, предназначенных для представления онтологической информации в наглядной графической форме.

Protege — локальная, свободно распространяемая java-программа. Она предназначена для построения (формирования, редактирования и просмотра) онтологий практической области. Её начальная задача — оказать помощь разработчикам программного снабжения в разработке и поддержке очевидных моделей предметной области и вложение данных моделей конкретно в программный код. Protege содержит редактор онтологий, позволяющий планировать онтологии, раскрывая иерархическую структуру абстрактных или конкретных классов и слотов. На базе сформированной онтологии Protege может производить формы получения познаний для внедрения экземпляров классов и подклассов. Инструмент содержит графический интерфейс, пригодный для применения неопытными пользователями, оснащён справками и наглядными примерами.

OntoEdit осуществляет проверку, просмотр, кодировку и преобразование онтологий. В настоящее время OntoEdit поддерживает языки представления: Flogic, в том числе машинку вывода, OIL, расширение RDFS и внутреннюю, основанную на XML, сериализацию модели онтологии, применяя OXML-язык представления познаний OntoEdit. К плюсам инстру-

мента имеется возможность отнести практичность применения; разработку онтологии под управлением методологии и с поддержкой процесса логического вывода; разработку аксиом; расширяемую структуру средством плагинов и неплохую документацию.

Онтологический инжиниринг должен служить основой всего процесса структурирования комплексных систем автоматизации, так как он объединяет две основные технологии проектирования больших систем — объектно-ориентированный и структурный анализ. Недаром онтологический анализ вошёл в стандарт IDEF5, который является основным средством спецификации КИС и моделирования бизнес-процессов сегодня.

Таким образом, базисными принципами онтологического подхода являются:

- 1) ориентация на процедурные конструктивные знания наряду с фундаментальной научной подготовкой;
- 2) повышение уровня умений развивать свои знания построением онтологий;
- 3) формирование мышления, ориентированного на достижение будущих целей;
- 4) рассмотрение множества вариантов анализируемых решений;
- 5) многокритериальные оценки вариантов, сравнительный анализ и выделение различий;
- 6) гармоничное развитие человека и окружающей среды;



- 7) системное рассмотрение проблем предметного поля специальности, выделение элементов знаний и рациональный подход к их оценке;
- 8) адаптивная подстройка учебных планов и программ к изменениям задач предметной области и требованиям внешней среды.

В данной работе рассмотрены результаты применения онтологического подхода к повышению эффективности систем обучения и образования. Этот подход в эволюции системы образования характеризует изменения, направленные на организационное развитие системы образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Акперов И.Г., Долятовский В.А., Гамалей Я.В.* О соотношении декларативных и процедурных знаний в системе высшего образования // Развитие высшего образования — цивилизованный путь прогресса и реформ. — Екатеринбург: УрГУ, 1997. — С. 108–112.
2. *Акперов И.Г., Долятовский В.А., Мазин В.Г.* Влияние информационных технологий на интеллектуальный потенциал нации / В кн.: Информационные технологии в образовании. — Ростов-на-Дону: Мин. обр. РО, 2001. — С. 146–149.
3. *Андон Ф.И., Гришанова И.Ю., Резниченко В.А.* Semantic Web как новая модель информационного пространства интернет / Ф. Андон, И. Гришанова, В. Резниченко // Проблемы програмування. Специальный выпуск. — 2008. — № 2–4. — С. 417–430.
4. *Артемова Г.О., Гусарова Н.Ф., Коцюба И.Ю.* Автоматизация поддержки принятия решений при разработке онтологий в сфере образования на основе промежуточных моделей // Открытое образование. — 2015. — № 5. — С. 5–9.
5. *Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Лещев Д.В.* Использование онтологий в качестве дидактического средства // Искусственный интеллект. — 2000. — № 3. — С. 34–39.
6. *Гаврилова Т.А.* Формирование прикладных онтологий // Труды XX национальной конференции по Искусственному интеллекту с международным участием — КИИ–2006, т. 2 — М.: Физматлит, 2006.
7. *Данченко А.Л.* Разработка онтологической модели представления знаний дистанционных курсов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2009. — № 12. — С. 165–170.
8. *Денисова И.Ю., Макарычев П.П.* Онтологическое исследование процесса электронного обучения и проектирование средств поддержки // Онтология проектирования. — 2012. — № 4 (6). — С. 61–73.
9. *Долятовский В.А.* Виртуальная обучающая среда «Магистр менеджмента». Свидетельство № 7404 от 21.12.2006. — М.: ИНИМ РАО-ОФЭРНИО, 2006.
10. *Долятовский В.А., Рябченко Т.Н., Мазур О.А.* Экономические показатели внедрения ВИОС // Молодежь и наука: реальность и будущее: Матер. межд. н.-пр. конф. — Т. 1. — Невинномысск: НИЭУП, 2013. — С. 291–293.

11. *Долятовский В.А.* Инновационные технологии обучения менеджменту на основе виртуальных информационных сред // Вестник университета (ГУУ). — 2010. — № 4. — С. 143–149.
12. *Долятовский В.А., Вилляр Ж.* Программа автоматического построения тезауруса // Теория и практика машинной обработки информации. — Ростов-на-Дону: Изд. РИНХ, 1971. — С. 24–30.
13. *Долятовский В.А., Долятовский Л.В.* Реализация новой концепции преподавания эконометрии в экономическом вузе / В сб.: Методы эволюционной и синергетической экономики в управлении региональными и производственными системами. — Ростов-на-Дону-Отрадная: РГЭУ-ОГИ, 2001. — С. 8–12.
14. *Долятовский В.А., Дуброва Л.Н., Лисович Г.М.* Создание виртуальной обучающей и контролирующей среды в вузе // Развитие средств и методов адаптивного компьютерного тестирования. — М.: МГУП, 2003.
15. *Долятовский В.А., Кузнецов Н.Г., Обаян Л.А. и др.* Виртуальная обучающая среда «Федеральная программа «Финансы, маркетинг»». Свидетельство № 15040 от 03.11.09. — М.: ИНИМ РАО-ОФЭРНИО, 2009.
16. *Долятовский В.А., Побуковский М.* Машинная программа поиска и произвольного перевода научных терминов // Теория и практика машинной обработки информации. — Ростов-на-Дону: Изд. РИНХ, 1971. — С. 15–23.
17. *Долятовский В.А., Сакиев Э.Е.* Применение информационно-обучающей среды для повышения качества учебного процесса в вузе // Информационные системы, экономика, управление трудом и производством / Ученые записки. Вып. 8. — Ростов-на-Дону: РГЭУ, 2003. — С 50–58.
18. *Долятовский В.А., Долятовский Л.В.* Представление знаний в объектно-ориентированной системе управления предприятием // Вторая межд. научн. конф. «Объектные системы». — Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010.
19. *Долятовский В.А., Долятовский Л.В., Полухина Т.И., Чеботарев Ю.А., Шефф А.А.* Виртуальная обучающая среда «Бакалавр менеджмента». Свидетельство № 10389 от 18.04.2008. — М.: ИНИМ РАО-ОФЭРНИО, 2008.
20. *Долятовский В.А., Сергеенко Г.С.* Введение в интеллектуальные системы для менеджеров. / Монография. — Ростов-на-Дону: МИРТ, 2002. — 168 с.
21. *Долятовский В.А., Шефф А.А., Топилина И.И., Гамалей Я.В.* Виртуальная обучающая среда «Аспирантура 05–13». Свидетельство № 10388 от 18.04.2008. — М.: ИНИМ РАО-ОФЭРНИО, 2008.
22. *Долятовский В.А., Шефф А.А., Топилина И.И., Гамалей Я.В.* Виртуальная обучающая среда «МВА-Мастер делового администрирования». Свидетельство № 10523 от 19.05.2008. — М.: ИНИМ РАО-ОФЭРНИО, 2008.
23. *Долятовский В.А.* Автоматическое выделение дескрипторов и построение многоязычного тезауруса // Пятый всесоюзный симпозиум по кибернетике. — Тбилиси: Изд. АН СССР, 1970. — С. 282–285.
24. *Долятовский Л.В., Долятовский В.А., Сущенко С.А., Шефф А.А.* Комплекс программ онтологического проектирования экономического управления предприятием. Свидетельство № 21763 от 12.04.2016. — М.: ИУО РАО-ОФЭРНИО, 2016.



25. Еремеев А.П., Малиновский В.П. Реализация онтологического подхода в обучающей экспертной системе подготовки менеджеров проектов // IX межд. конф. по искусств. интеллекту «КИИ-4». — М., 2004.
26. Келеберда И.Н., Лесная Н.С., Репка В.Б. Использование мультиагентного онтологического подхода к созданию распределенных систем дистанционного обучения / И. Келеберда, Н.Лесна, В.Репка // Educational Technology & Societe. — 2004. — 7(2). — С. 190–205.
27. Коцюба И.Ю., Шиков А.Н. Автоматизированный анализ интеллект-карт учащихся, применяемых для оценки усвоения учебного материала // Педагогическая информатика. — 2015. — № 3.
28. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. — М.: Научный мир, 2010. — 224 с.
29. Лутюшкина Н.В., Мурашова Л.М. Систематизация мультимедийного контента электронного курса на основе онтологии предметной области // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 6. URL: www.science-education.ru/113-11480.
30. Манцивода А.В., Ульянов В.С. Онтологическая система и задачи управления контентом: [Электронный ресурс]. URL: edu.znate.ru/dcs/93/index-598276.html.
31. Невзорова О.А. Онтологическое моделирование в информационно-образовательных системах // Обработка текста и когнитивные технологии. — Пущино, 2009. — № 3. — С. 152–157.
32. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. — М.: Финансы и статистика, 1996.
33. Прийма С.Н. Обеспечение семантической интероперабельности открытых систем образования взрослых посредством агенто-онтологического подхода // Перспективы науки и образования. — 2014. — № 1 (7). — С. 79–84; Садчиков С.М., Щукин Б.А. Применение онтологий в образовании // Труды межд. конф. «ИТО-8», секция 2. — М.: ВНИИСИ, 2008.
34. Ступин А.А., Ступина Е.Е. Электронное обучение (E-Learning) — проблемы и перспективы исследований // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2012. — № 1. — С. 38–49.
35. Тарасов В.Б. Многоагентные системы поддержки открытого образования в техническом университете: [Электронный ресурс] / В.Тарасов // Программные продукты и системы. — 2001. — № 2. — URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=829>.
36. Технологии применения онтологий: [Электронный ресурс]. URL: http://bigspb.ru/theory/km/onto_technologies.php http://bigspb.ru/theory/km/onto_technologies.php.
37. Топоркова О.М. Семиотико-онтологическая модель обучения как концептуальная основа организации учебного процесса // Прикладная информатика. — 2009. — № 4. — С. 100–113.
38. Шибут М.С. Концептуальное моделирование предметной области в системе информационного обеспечения процесса обучения // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2010: Сб. докл. 10-й Междунар. науч. конф. — Киев: Просвіта, 2010. — С. 276–283.