

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УЧЕБНЫХ КУРСОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**М.В. Воронов, М.А. Сафонов**

Рассматривается задача формирования оценок качества учебного курса. Решение этой задачи базируется на анализе математической модели учебного курса. Модель учебного курса предложено строить на онтологических описаниях концептов и концептов данной предметной области.

---

The problem of forming estimates of a quality training course is considered. The solution to this problem is based on the analysis of the mathematical model of the training course. Model training course are proposed to build on the ontological descriptions of concepts and concepts of this subject area.

---

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Знания, технология, концепт, конструкт, онтология.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В каждом вузе для обеспечения данной образовательной программы (учебной дисциплины, модуля) формируется полный комплект учебно-методических материалов (УММ) в соответствии с которым должен быть организован и реализован соответствующий процесс обучения. По сути УММ можно рассматривать как развернутый план реализации процесса обучения, который содержит многие его компоненты и имеет определенный уровень обязательности, поскольку регламентирован рядом норм, отображает мнение учебно-педагогического коллектива вуза (факультета, кафедры), а также утвержден соответствующим должностным лицом.

Конечно, в силу разного рода причин практическая реализация учебного процесса в той или иной мере отклоняется от запланированного. Однако именно план его реализации в значительной мере обуславливает суть и потенциальное качество учебного процесса в целом. Каково качество плана учебного процесса содержащегося в соответствующих учебно-методических материалах, в какой мере он ориентирован на достижение поставленной цели?

Попытки сформировать оценки качества учебного процесса на основе непосредственного анализа УММ не дают удовлетворительных результатов, поскольку представлены они, в основном, в вербальной форме, да и многие характеристики учебного процесса, такие как полнота, глубина, широта, системность и т.п. носят сугубо качественный характер. Требуется создать средства, которые в удовлетворяющей практику степени обеспечивали бы возможность адекватной оценки планов реализации учебного процесса.

Решение поставленной задачи видится на пути структуризации методики изложения учебного материала, основные этапы которого, как минимум, следующие.

1. Формирование множества характеристик, каксовокупности отличительных свойств рассматриваемого объекта достаточной (в данной ситуации) для его описания;
2. Генерирование совокупности показателей, значения которых представляют собой оцененные соответствующим образом характеристики объекта;

3. Построение структур показателей, обеспечивающих возможность корректного определения их значений;

4. Разработка математической модели, отображающей состав и структуру получаемых знаний, а также протекание собственно учебного процесса.

В данной работе рассматривается вариант построения математической модели освоения заданного объема знаний, на основе которой могут быть созданы компьютерные средства анализа, накопления, сравнения и использования учебно-методических материалов.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Каждый процесс регулярного обучения представляет собой вполне определенный реализуемый для достижения вполне определенных целей технологический процесс, который можно описать в виде упорядоченной последовательности этапов усвоения определенных порций знаний.

Поскольку реализация такого рода технологического процесса представляет собой целодостигающий процесс, все его компоненты детерминированы общественными отношениями и социальными условиями, состоянием развития науки и техники, мировоззрением и квалификацией профессорско-преподавательского состава, уровнем подготовки и мотивации к учебе обучаемых и рядом других факторов.

На современном этапе наиболее значительный эффект в намерениях улучшить образовательный процесс предполагается получать на пути математического моделирования и широкого применения компьютерной техники. Вместе с тем значительная часть используемых в настоящее время в образовательных процессах компьютерных комплексов представляют собой средства поиска информации и взаимодействия с электронными библиотеками, а также построение различного рода тестирующие автоматические комплексы.

Трудности активного использования информационных технологий в учебных процессах в значительной мере обусловлены слабоструктурированностью учебного материала. Поэтому сегодня весьма актуальны задачи формализации учебного материала и процессов его изучения.

В проведенном исследовании в качестве объекта выступает учебно-методический комплекс (УМК) который понимается нами, как совокупность систематизированных материалов, разработанных педагогическим коллективом для целенаправленного осуществления учебного процесса по изучению определенного учебного курса, как тематически завершенного и структурированного учебного материала. УМК предполагается заданным и не подлежащим в данном рассмотрении корректуре.

Собственно учебный курс представляет собой определенную последовательность этапов – этапов освоения конкретных порций знаний (умений, навыков), которые должен усвоить обучаемый. В методических материалах подобные элементы называются дидактическими единицами. Каждый из этапов свою очередь может быть разбит на более мелкие фрагменты учебного процесса (подэтапы), которые в свою очередь также могут быть декомпозированы и т.д. Таким образом, описание содержания и структуры подлежащего реализации учебного процесса в соответствии с рекомендациями учебно-методического комплекса может трактоваться как технология представления подлежащему освоению учебного курса. Эта технология и выступает предметом нашего рассмотрения.

Поскольку учебно-методические материалы изложены вербально, а компоненты технологии освоения соответствующего учебного курса слабоструктурированы и разбросаны по УМК, ставится задача: разработать инструмент для адекватной оценки данных учебно-методических материалов. Решение этой задачи представляется через разработку формальной модели соответствующего учебного курса (МУК).

### 3. МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО КУРСА

По нашему мнению модель учебного курса должна представлять собой формализованное описание упорядоченной последовательности технологических действий по освоению отдельных порций знаний. Дело в том, что весь процесс освоения учебного курса в целом и каждый этап в отдельности на естественном языке обычно выражается соответствующей глагольной формой, описывающей его семантику. Как следствие, модель учебного курса может быть сформирована в виде упорядоченной совокупности онтологических представлений концептов соответствующих технологических действий [1].

Объектом моделирования являются знания. Следовательно, при описании концепта технологического действия ( $TD$ ) целесообразно использовать представления декларативных и процедурных знаний, а также метазнаний. В этой связи онтологическое представление каждого концепта технологического действия (КТД), т.е. его интерпретационная модель, может иметь следующий вид:

$$TD = \langle ITD, X, U, Al, Y | H \rangle, \quad (1)$$

где  $ITD$  – имя концепта технологического действия (осуществления некоторой деятельности);

$X$  – множество компонентов, средств деятельности (предметов), участвующих в реализации данного  $TD$ ;

$Y$  – множество концептов – результатов данного технологического действия;

$U$  – описание условий осуществления  $TD$ ;

$Al$  – алгоритм реализации (конструкт)  $TD$ ;

$H$  – некоторые дополнительные условия, носящие рекомендательный характер.

Примечание. Для удобства в данной работе концепты, обозначающие действия и описываемые глаголами, будем называть конструктами, в отличие от всех иных концептов обозначающих предметы, которые участвуют в действиях и описываются именами существительными.

Рассмотрим описание этих компонентов несколько подробнее.

Из (1) следует, что алфавит описания каждого  $TD$  (вне зависимости от уровня его обобщения) составляют концепты двух типов: представляющие смысловое содержание средств обеспечения действий (на вербальном уровне выражаются обычно существительными), и собственно этих действий, которые выражаются обычно глаголами (глагольными формами). Все используемые в рассматриваемом учебном процессе концепты предполагается описывать в виде соответствующих фреймов. Такое решение обеспечивает возможность не только наиболее полного и адекватного формализованного представления используемых концептов, но и организации процесса формирования структурированного пространства используемых понятий. Покажем возможность реализации такого рода процедур.

Пусть  $c_i$  – некоторый концепт объекта типа «предмет». В отличие от традиционного неструктурированного вербального описания, опишем его в виде уникального, присущего только ему упорядоченного атрибутивного состава, который обозначим через  $M_i = \{m_1, \dots, m_d\}$ . По определению этот атрибутивный состав достаточно полно описывает данный концепт, т.е.  $M_i \sim c_i$ . На основе сравнения состава атрибутов концептов (а не их имен) и построены ключевые схемы оперирования с концептами, а именно: их идентификация, сравнение, построения структурированных понятийных пространств, и, как следствие, алгоритмов поиска описания нужных концептов [2].

Этот подход и был использован при разработке этих механизмов. Изложим их теоретическое описание [3]. На множестве свойств концепта вводится отношение непосредственного наследования концептов  $R \subseteq C \times C$ . Отношение  $R$  может быть задано матрицей раз-

мером  $I \times I$ . При этом если концепт  $c_k$  непосредственно наследует концепту  $c_i$ , т.е.  $(c_i, c_k) \in R$ , то элемент матрицы  $r_{ik} = 1$ , в противном случае, если  $(c_i, c_k) \notin R$ , то  $r_{ik} = 0$ . Нахождение двух концептов в отношении непосредственного наследования означает, что между ними нет ни одного промежуточного концепта:

$$\exists c_i \exists c_k ((c_i, c_k) \in R) \Rightarrow \bar{\exists} c_h (((c_i, c_h) \in R) \wedge ((c_h, c_k) \in R)).$$

Если два концепта онтологии находятся в отношении наследования, то соответствующие родительский и дочерний концепты в предлагаемой модели связаны отношением строгого частичного порядка, обозначаемым  $<$ . Отношение обладает свойством транзитивности

$$\forall c_i \forall c_j \forall c_k ((c_i < c_j) \wedge (c_j < c_k) \Rightarrow c_i < c_k).$$

Для использования в задачах, связанных с семантическим аннотированием объектов предметной области, в модель онтологии вводятся экземпляры концептов онтологии. Каждый экземпляр концепта онтологии содержит индивидуальный набор значений атрибутов, характеризующих концепт.

В частности для обеспечения автоматизации процедур построения структурированных представлений пространств используемых в данной предметной области концептов вводится ряд аксиоматических свойств:

1. Наследование атрибутов. Связанность концептов отношением наследования порождает наследование дочерним концептом атрибутов родительского концепта:

$$\forall c_i \forall c_j (r_{ij} = 1 \Rightarrow M_i \subset M_j).$$

2. Эквивалентность отношения порядка и вложенности множеств атрибутов:

$$\forall c_i \forall c_j (M_i \subset M_j \Leftrightarrow c_i < c_j).$$

3. Возможность множественного наследования:

$$\exists c_i \exists c_j \exists c_k ((r_{ik} = 1) \wedge (r_{jk} = 1)).$$

4. Единственность прямого наследования концептом определенного множества атрибутов. При выполнении этого условия концепт не может непосредственно наследовать от концепта, являющегося родительским по отношению к другому родительскому концепту данного концепта:

$$\bar{\exists} c_i \bar{\exists} c_j \bar{\exists} c_k ((r_{ik} = 1) \wedge (r_{jk} = 1) \wedge (M_i \subset M_j)).$$

5. Единственность концепта верхнего уровня  $c_0$ :

$$\exists c_0 (\forall c_i (c_0 < c_i)) \wedge \bar{\exists} c_0' (\forall c_i (c_0' < c_i)).$$

6. Уникальность атрибутивного состава концепта:

$$\bar{\exists} c_i \bar{\exists} c_j (M_i = M_j).$$

Алгоритмы автоматического формирования и наращивания пространства описанных и используемых в данной учебном курсе концептов и построены на схемах проверки испол-

нения определенных свойств из этой совокупности, а изложенный подход в целом положен в основу формирования структуры используемых в УМК понятий.

Как правило, разработчики УМК предполагают, что начинающий изучать данный учебный курс владеет некоторым набором понятий и способен воспроизводить с ними ряд действий. Обозначим этот набор понятий через  $\{X_a, TD_a\}$ , назвав их априорными. По мере освоения курса обучаемому излагаются новые для него понятия и операции с ними. Обозначим их через  $\{X_b, TD_b\}$  и назовем приобретаемыми компонентами знаний.

Содержание концептов собственно технологических действий (конструктов) описывается в виде конструктивных алгоритмов. Напомним, что алгоритм является конструктивным, если отчетливо охарактеризованы объекты, фигурирующие в данном рассмотрении как элементарные (неразложимые), задан список правил образования новых объектов из ранее построенных и процессы построения осуществляются отдельными однозначно интерпретируемыми шагами [4].

В описании присутствующих в (1) алгоритмов используются структурированные, как показано выше, совокупности концептов рассматриваемой предметной области, что позволяет формулировать и правила формирования новых концептов, которые, как правило, относятся к множеству результатов данного технологического действия  $Y$ .

В предлагаемой модели учебного курса правила образования новых концептов из ранее построенных представляют собой цепочки технологических действий, для которых могут использоваться два типа описаний. Назовем их условно элементарным и составным. Элементарным назовем такое описание алгоритма реализации  $TD$ , которое содержит только уже полностью описанные в данной модели конструкты и концепты, а также, что естественно, множество априорных понятий  $\{X_a, TD_a\}$ .

Содержательно элементарное описание технологического действия означает, что обучаемый должен (по логике изложения материала!) верно понимать используемые в нем понятия и воспроизводить соответствующие построения, поскольку они опираются исключительно на пройденный материал и знания полученные до начала изучения данного курса.

Если в описании алгоритма реализации  $TD$  встречаются еще неописанные конструкты и концепты, то будем называть его составным. Составные конструкты подлежат дальнейшей декомпозиции. По-существу, декомпозиция концептов технологических действий, начиная с корневого (часто это просто название курса, модуля или темы), отражает обратную логику раскрытия материала, от названия, обобщающего весь материал, до отдельных дидактических единиц. Действительно, курс имеет название, которое может быть принято за корневой концепт. Если его формализованное описание в описанном выше смысле элементарно ( $\{X_b, TD_b\} = \emptyset$ ), то модель учебного курса считается построенной. При этом она тривиальна, поскольку не сообщает обучаемому новых знаний, ибо состоит исключительно из фрагментов знаний известных обучаемому до начала процесса изучения курса. Как правило, учебный курс представляется последовательностью составляющих его частей (разделов, глав, параграфов и т.п.). Естественно, что корневой концепт должен быть декомпозирован на соответствующие частные концепты, для каждого из которых строится их онтологическое описание. Если каждое из них элементарно, модель построена. В противном случае встречающиеся концепты декомпозируются, и процесс продолжается до тех пор, пока полученное описание не станет элементарным. Декомпозиция концепта технологического действия сопровождается разбиением его на составляющие его описания действия и новые концепты, являющиеся результатами исполнения этих действий.

Вводимые при этом компоненты знаний пополняют множество  $\{X_b, TD_b\}$ . После описания всех образованных в ходе декомпозиции компонентов результаты реализации каждого технологического действия  $Y_i$ , появившегося в ходе декомпозиции составного конструкта, также вводят в это множество  $Y_i \in \{X_b, TD_b\}$ . Эти же компоненты вводятся и в множество  $\{X_c, TD_c\}$  – множество вновь освоенных элементов учебного курса. Тем самым актуальное состояние множества  $\{X_c, TD_c\}$  описывает совокупность полученных к окончанию данного

этапа прохождения учебного курса фрагментов знаний, а множество  $\{X_a, TD_a\} \cup \{X_c, TD_c\}$  – весь арсенал знаний обучаемого в данном сегменте рассматриваемой предметной области.

Как правило, данное технологическое действие возможно только при соблюдении некоторых условий. Для отображения соответствующих обстоятельств в представлении  $TD\{(1)$  используются условия осуществления соответствующих технологических действий  $U$ , которые формализуются в виде продукционных моделей знаний.

Модель данного учебного курса в целом конструируется в виде «обвязки» формализованных представлений каждого из описанных в УМК концептов технологических действий, представляя собой определенную модель метазнаний – процедур прохождения учебного материала. Структурно модель формализованного описания учебного курса представима в виде кортежа:

$$MUK = \langle X, TD, P, F \rangle, \quad (2)$$

где  $X, TD$  – множества используемых в курсе, соответственно, концептов и конструкторов;

- $P$  – отношение непосредственного предшествования;
- $F$  – отношение «часть-целое».

Именно эти отношения и объединяют фрагменты МУК в единую модель.

#### 4. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА УЧЕБНОГО КУРСА

Пусть имеется оболочка модели учебного курса и представленный для формализации УМК. Методика наполнения оболочки МУК состоит из следующих этапов.

1. Реализуется процесс наполнения модели исходной информацией. Для этого анализируется словарный арсенал УМК и все используемые в нем концепты, имеющие непосредственное отношение к данному учебному курсу, вводятся в множества  $\{X_a, TD_a\}$  и  $\{X_b, TD_b\}$ , причем априорные в первое множество, а изучаемые во второе.

2. Производится анализ подмножества  $\{TD_b\}$  и для каждого его элемента (концепта технологического действия) осуществляется попытка сформировать соответствующее его онтологическое представление вида (1). При этом могут использоваться находящиеся уже в модели концепты и конструкторы.

3. Если множество  $\{X_b, TD_b\}$  пусто, то модель наполнена, т.е. формализованный учебный курс построен.

4. В противном случае каждый составное (не элементарное) описание технологического действия декомпозируется, наращиваются множества  $X_a, TD_a$  и переходят к этапу 2.

После наполнения оболочки модели, а по-существу структуризации учебного курса, может быть произведен опосредованный через построенную модель анализ исходного учебно-методического комплекса. Некоторые его составляющие следующие:

1. Наличие в МУК составных конструкторов свидетельствует о незаконченности модели или дефектах в исходном УМК. Следовательно, в модели отсутствует изложение некоторых подлежащих освоению порций знаний.

2. Если  $\{X_b, TD_b\} = \emptyset$ , то рассматриваемый УМК является замкнутым и может с успехом изучаться. Дело в том, что это условие свидетельствует о том, что все без исключения изучаемые в курсе понятия базируются только на априорный для данного учебного курса знаниях, т.е. предполагается, что для его изучения дополнительные сведения, вообще говоря, не требуются.

3. В противном случае, т.е. если  $\{X_b, TD_b\} \neq \emptyset$ , т.е. в МУК имеются неописанные концепты и/или концепты технологических действий. Это свидетельствует о неполноте учебного курса (в нем присутствуют неразъясненные моменты), либо, некорректно задано

множество априорных понятий  $\{X_a, TD_a\}$ . Количество и качество такого рода компонентов позволяет установить оценку полноты рассматриваемого учебного курса.

4. Мощности множеств  $X_c$  и  $\{TD_c\}$ , т. е.  $|X_c|$  и  $|TD_c|$ , могут выступать в качестве показателей насыщенности данного учебного курса новым материалом. Сравнение мощностей множеств  $\{X_a, TD_a\}$  и  $\{X_c, TD_c\}$ , а также их подмножеств может дать сведения об уровне добавленных знаний, получаемых в процессе изучения данного учебного курса.

5. В процессе построения модели учебного курса могут фиксироваться уровень вложенности концептов, очередность появления вводимых понятий  $X_c$  и описаний конструкций содержательной деятельности  $TD_c$ .

В заключении можно добавить, что описанные модели учебных курсов могут стать основой для формирования автоматизированных процедур интеллектуализированной поддержки образовательных процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. А. Андреев, М. В. Воронов. - // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1, Естественные и технические науки. – 2011. – № 2. – С. 47–51.
2. Антонов И.В., Воронов М.В. Методы анализа данных в задачах автоматизации построения онтологии предметной области. -//Дистанционное и виртуальное обучение. - 2011. - N 8. – С. 12-19.
3. Антонов И.В, Воронов М.В. Метод автоматизированного построения онтологии предметной области. - //Моделирование и анализ данных, М.: МГППУ, 2011, №1. – С.116-130.
4. Математическая энциклопедия.т.2. – М.: «Советская энциклопедия», 1979, –С. 1058.

*Работа поступила 04.11.2015*