УДК 519.673 + 004.9

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

© 2009 А. В. Соловов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Формулируются правила построения моделей содержания электронных образовательных ресурсов, базирующихся на древовидных ориентированных графах. Обсуждаются математические свойства этих моделей и вводятся их интегральные характеристики. Предлагаемый подход к моделированию содержания хорошо согласуется с международными спецификациями электронного обучения SCORM, дополняет их целевыми показателями, алгоритмами дидактического проектирования и анализа учебных материалов.

Электронное обучение, электронные образовательные ресурсы, структуризация учебного материала, модель содержания, древовидные ориентированные графы, SCORM.

Введение

Развитие технологий электронного обучения позволяет перевести учебный процесс на индустриальные «рельсы», внести в него специализацию и разделение труда. Индустриализация влечёт за собой унификацию и стандартизацию различных образовательных процедур. Разработку электронных образовательных ресурсов начинают со структурирования учебного материала, планируемого для изучения. Основой международных унифицированных процедур структуризации учебных материалов ныне являются спецификации SCORM (The Sharable Content Object Reference Model). Одна из базовых идей SCORM (Advanced Distributed Learning: [сайт]. URL: http://www.adlnet.org/) – это составление электронных образовательных ресурсов из блоков учебного материала, называемых совместно используемыми объектами содержания (Sharable Content Objects - SCOs). К таким объектам могут быть отнесены локальные в смысловом плане фрагменты текста, графические иллюстрации, компьютерные программы, видеоклипы, какие-либо другие типовые элементы гипермедиа или их комбинации. SCORM не накладывает ограничений на размер SCOs и контактное учебное время работы с ними. Вместе с тем предполагается, что объект представляет относительно небольшую часть содержания изучаемого учебного материала. Разработчик содержания должен определять размер SCO, основываясь, во-первых, на объёме информации, необходимом для достижения учебного результата, и, во-вторых, на степени многократного совместного использования, которую разработчик хочет получить.

Различные SCOs размещают в сетевых депозитариях (корпоративных или глобальных), что обеспечивает доступ к ним пользователям этих сетей. Разработчики учебных материалов, используя метаданные об SCOs, отыскивают подходящие объекты и компонуют из различных SCOs их агрегации в виде электронных учебных пособий, компьютерных курсов и т.п., причём выбранные SCOs можно не копировать, а указывать лишь адреса (URL). Собранная агрегация размещается в какой-либо системе управления обучением (Learning Management System - LMS), поддерживающей спецификации SCORM, причём любая такая LMS может запускать и выполнять SCOs независимо от технологической платформы, на которой были созданы эти учебные объекты.

Однако спецификации SCORM не содержат конкретных методик и моделей структуризации, что затрудняет их практическое применение. Российская школа дидактики имеет опережающий опыт исследований в сфере структуризации учебных материалов. Наиболее известны в этом плане дидактические разработки В.П.Беспалько [1] и Е.Л.Белкина [2]. В наших исследованиях эти разработки были адаптированы и развиты применительно к проектированию электронных образовательных ресурсов (ЭОР) [3]. Предлагаемые в работах [1-3] модели структуризации учебных материалов адекватны базовым концепциям SCORM и дополняют их в плане дидактического целеполагания SCOs. Однако эти модели не имеют математического обоснования, а методика их построения ориентирована на обычные, не автоматизированные процедуры проектирования учебного материала.

В данной статье даётся математическое обоснование моделей структуризации [1-3], рассматриваются свойства и вводятся интегральные характеристики этих моделей, позволяющие проводить дидактический анализ и строить автоматизированные процедуры проектирования структуры учебного материала.

Модель содержания

На начальном этапе проектирования ЭОР планируемый для изучения учебный материал разбивают на отдельные учебные элементы (УЭ) [3]. Под УЭ понимают объекты, явления, понятия, методы деятельности, отобранные из соответствующей науки и внесённые в программу учебной дисциплины или раздела учебной дисциплины для их изучения.

Совокупность УЭ объединяют в структурной схеме, называемой графом содержания (ГС). Будем представлять ГС в виде ориентированного графа (орграфа) древовидной структуры $D = (V, Y)$, где V – конечное множество n вершин (множество УЭ), а Y – конечное множество m ориентированных рёбер (или дуг) орграфа (иерархических связей между УЭ).

В качестве иллюстрации сказанного здесь и далее будем рассматривать небольшой фрагмент модели содержания учебного материала по теории ориентированных графов из книги [4] (рис. 1).

При построении ГС соблюдают следующие правила:

1) ГС имеет вид перевёрнутого дерева с одной корневой вершиной - одним УЭ, соответствующим названию структурируемой темы;

2) связь (ориентация ребер) осуществляется только в направлении от корня (сверху – вниз);

3) отсутствуют отдельные (висячие) вершины, к которым нет связи (дуги) от вышестоящих УЭ, кроме корня;

4) к нижестоящему по иерархии УЭ может подходить только одна дуга от вышестоящих УЭ;

5) вышестоящие УЭ должны быть связаны не менее чем с двумя нижестоящими УЭ, в противном случае нижестоящий УЭ включается в вышестоящий УЭ;

6) группировка УЭ на одном уровне осуществляется по какому-либо общему признаку (общему основанию);

7) нумерация вершин (УЭ) ГС начинается с корня и продолжается последовательно по уровням группировки УЭ сверху вниз и слева направо. Иногда удобно нумеровать вершины ГС аналогично оглавлению печатных материалов. Тогда корневой вершине ГС присваивают номер 0, вершинам первого уровня – 1, 2, 3, …, вершинам второго уровня – 1.1, 1.2, 1.3, …, 2.1, 2.2, 2.3, … и т.д.

Будем также считать, что содержание нижестоящих УЭ не является простой декомпозицией (дроблением) содержания связан-

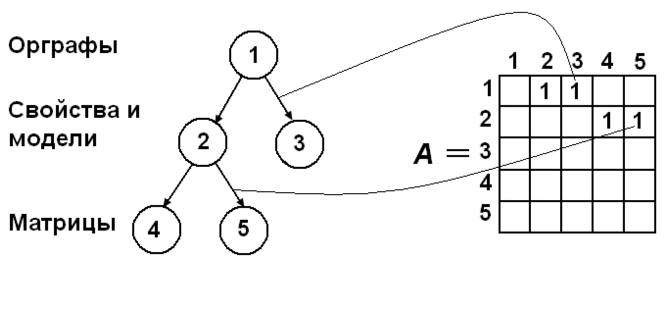

Рис. 1. Пример ГС и его матрицы смежности для фрагмента теории орграфов

ного с ними вышестоящего УЭ (в частности, содержание нижестоящих УЭ может детализировать, раскрывать отдельные компоненты содержания связанного с ними вышестоящего УЭ), и, наоборот, содержание вышестоящего УЭ, хотя и интегрирует содержание связанных с ним нижестоящих УЭ, но не является их простым объединением.

Математической моделью ГС является его матрица смежности А (рис. 1). При её заполнении строки и столбцы матрицы ставят в соответствие номерам УЭ, которые располагают слева и сверху матрицы. Ячейки этой матрицы могут содержать нули или единицы. Нуль означает, что между УЭ, указанном в номере строки, и УЭ, указанном в номере столбца, нет иерархической связи (нет ребра в ГС). При этом нули, как правило, не ставят, поскольку матрица смежности ГС обычно является слабо заполненной. Единицу в ячейку матрицы ставят, когда имеется иерархическая связь между УЭ. Например, единицы в ячейках 1-3 и 2-5 указывают наличие соответствующих рёбер в ГС между УЭ 1 и УЭ 3, между УЭ 2 и УЭ 5 (рис. 1).

Параллельно с построением ГС составляют спецификацию (таблицу) УЭ, в которую вносят наименования УЭ (табл. 1). Аналогом этого процесса является составление оглавления учебного пособия, когда его содержание предварительно дробят на главы, параграфы и т.д. Однако при построении графа содержания учебного материала, в отличие от составления оглавления, нет нужды заботиться о последовательности изложения УЭ. Важно отобразить лишь иерархическую структуру учебного материала.

После структурирования и отбора содержания учебного материала для каждого УЭ формулируют требования по уровню усвоения α ($\alpha \in 0, 1, 2, 3, 4$), уровню представления β ($\beta \in 1, 2, 3, 4$) и уровню осознанности γ ($\gamma \in 1, 2, 3$) учебного материала, которые включают в спецификацию УЭ [3]. При этом по каждому показателю заполняют одну или две колонки таблицы УЭ (табл. 1). В первой колонке, не всегда включаемой в спецификацию, указывают «стартовую» величину показателя (предполагаемый начальный уровень до обучения), во второй колонке, обязательной для включения в спецификацию, – «финишную» величину показателя (требуемый конечный уровень после обучения). Учебный элемент вносят в таблицу и, следовательно, планируют его изучение лишь тогда, когда необходимо повысить хотя бы один из показателей. Таким образом, устанавливают чёткую преемственность и взаимосвязь различных учебных дисциплин или отдельных тем в одной учебной дисциплине.

В приведённом примере (табл. 1) для показателей α, β, γ указан примерный уровень знаний студентов технического вуза, изучающих курс дискретной математики.

Совокупность графа содержания и спецификации учебных элементов будем называть **моделью содержания** учебного материала.

Таблица 1. Пример спецификации УЭ, соответствующей ГС на рис. 1

№ УЭ	Наименование УЭ	Изложение		Усвоение		Осознанность	
		$\beta_{нач}$	$\beta_{кон}$	$\alpha_{нач}$	$\alpha_{кон}$	$\gamma_{нач}$	$\gamma_{кон}$
1	Ориентированные графы	1	3	1	2	1	2
2	Орграфы и матрицы	-	3	0	2	-	2
3	Связность	-	3	0	1	-	2
4	Матрица смежности	1	3	1	2	1	2
5	Матрица расстояний	-	3	0	1	-	2

Некоторые свойства ГС

Свойство 1. Число дуг ГС на единицу меньше числа его вершин, т. е. $m=n-1$, при этом $n \geq 1$ и $n \neq 2$.

ГС можно построить, начав с корневой вершины и последовательно добавляя типовые фрагменты в виде одной вершины и входящей в нее дуги (рис. 2). Отсюда следует, что число дуг ГС будет на единицу меньше числа его вершин. Исключение составляет случай с $n=2$, в котором ГС нельзя построить, поскольку в соответствии с пятым правилом построения ГС вышестоящий УЭ должен быть связан не менее чем с двумя нижестоящими УЭ.

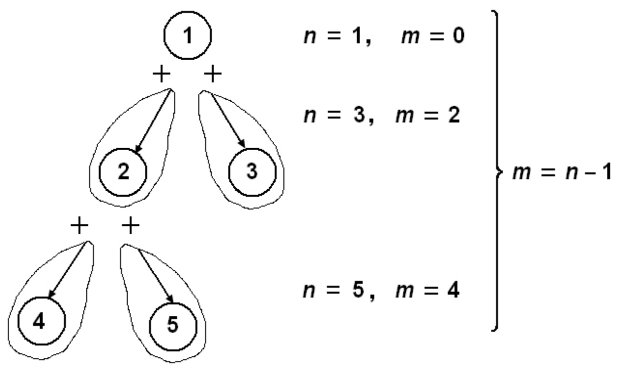

Рис. 2. К свойству 1 графа содержания

Свойство 2. Столбцы матрицы смежности вершин ГС $A=(a_{ij})$ содержат только одну единицу за исключением столбца, соответствующего корневой вершине, который содержит только нули. Это свойство определяется тем, что в соответствии с правилами построения 3-4 ГС в любую вершину ГС, кроме корня, есть только одна входящая дуга (рис. 1).

Свойство 3. Для ГС с матрицей смежности $A=(a_{ij})$ элемент $a_{ij}^{(t)}$ в матрице A^t, где t – степень, может быть равен 0 или 1, причем единица определяет наличие единственного простого (без повторяющихся вершин) пути длиной t из вершины v_i в вершину v_j (рис. 3).

Если $t=1$, то результат очевиден – матрица смежности A указывает наличие путей единичной длины (рис. 1). Пусть $t=2$. Чтобы пройти из вершины v_i в v_j за два шага, нужно пройти из v_i в некоторую вершину v_k за один шаг и затем из v_k перейти в v_j за следующий шаг. Возможность перехода из v_i в v_k определяет коэффициент матрицы A a_{ik}, переход из v_k в v_j - коэффициент a_{kj}. Возможность перехода из v_i в v_j через v_k определяется суммой $\sum_{k=1}^{n} a_{ik} a_{kj}$. Данная сумма является коэффициентом $a_{ij}^{(2)}$ матрицы A^2. Из второго свойства ГС следует, что в столбце k коэффициентов a_{ik} и в столбце j коэффициентов a_{kj} лишь по одному коэффициенту может быть равно единице, а остальные коэффициенты равны нулю. Следовательно, каждый столбец j матрицы A^2 может быть либо полностью нулевым, либо содержать одну единицу, т.е. путь из v_i в v_j, если он есть, является единственным и простым. Проводя аналогичные рассуждения, можно показать справедливость указанного свойства для A^3 и т.д. для A^t (рис. 3).

$$A^2 = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & & & & 1 & 1 \\ 2 & & & & & \\ 3 & & & & & \\ 4 & & & & & \\ 5 & & & & & \end{array} \qquad A^3 = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & & & & & \\ 2 & & & & & \\ 3 & & & & & \\ 4 & & & & & \\ 5 & & & & & \end{array} \qquad d_{(ij)} = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & x & 0 & x & 1 & 1 \\ 3 & x & x & 0 & x & x \\ 4 & x & x & x & 0 & x \\ 5 & x & x & x & x & 0 \end{array}$$

$$D_C = I + A + A^2 = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & 1 & & & & \\ 2 & & 1 & & & \\ 3 & & & 1 & & \\ 4 & & & & 1 & \\ 5 & & & & & 1 \end{array} + \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & & 1 & 1 & & \\ 2 & & & & 1 & 1 \\ 3 & & & & & \\ 4 & & & & & \\ 5 & & & & & \end{array} + \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & & & & 1 & 1 \\ 2 & & & & & \\ 3 & & & & & \\ 4 & & & & & \\ 5 & & & & & \end{array} = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & & 1 & & 1 & 1 \\ 3 & & & 1 & & \\ 4 & & & & 1 & \\ 5 & & & & & 1 \end{array}$$

Рис. 3. Примеры матриц, иллюстрирующих свойства ГС

Свойство 4. Все пути в ГС являются простыми (без повторяющихся вершин).

В соответствии с третьим свойством каждый столбец матрицы A^t может быть либо полностью нулевым, либо содержать одну единицу, т.е. путь из какой-либо вершины v_i в другую вершину v_j, если он есть, является единственным и простым.

Свойство 5. Пусть ГС имеет матрицу смежности A и матрицу расстояний (d_{ij}). Тогда, если величина d_{ij} $(i \neq j)$ определена, то она равна t, для которого коэффициент $a_{ij}^{(t)}$ в A^t равен 1. Для $i=j$ $d_{ii}=0$.

Доказательство следует из третьего свойства, в соответствии с которым коэффициенты матрицы A^t указывают все простые пути длиной t в ГС. Нули на главной диагонали матрицы (d_{ij}) определяют длину пути соответствующей вершины до самой себя (рис. 3).

Свойство 6. Любая вершина ГС достижима из его корня, причём к каждой вершине существует единственный и простой путь из корня.

Начнём продвигаться из любой вершины в сторону корня в направлении, противоположном ориентации рёбер. На этом пути в каждом разветвлении (вершине) орграфа будет только одно возможное направление, поскольку любая вершина ГС, кроме корневой вершины, имеет только одно входящее ребро. Учитывая, что ГС не имеет вышестоящих висячих вершин, кроме корня, такое продвижение будет иметь только одну траекторию, обязательно приводящую к корню. И, следовательно, наоборот, из корня до любой вершины обязательно существует единственный и простой путь, т.е. все вершины достижимы из корня. Заметим, что любая вершина считается путём, поэтому корневая вершина достижима сама для себя.

Свойство 7. Матрица достижимости ГС D_c определяется через его матрицу смежности A по формуле

$$D_c = I + A + A^2 + \ldots + A^{(n-1)/2}. \quad (1)$$

Первое слагаемое этой формулы – единичная матрица I – определяет тот факт, что каждая вершина ГС достижима сама для себя. Последующие слагаемые указывают все возможные пути в ГС длиной 1,2, …,$(n-1)/2$, причём единицы в столбцах матриц A, A^2, …, $A^{(n-1)/2}$, указывающие эти пути, находятся в разных позициях и не совпадают. Последнее слагаемое соответствует самому длинному (в потенциале) простому пути в ГС. Его длина равна $m/2 = (n-1)/2$, поскольку в соответствии с пятым правилом построения ГС вышестоящая вершина должна быть смежной не менее чем с двумя нижестоящими вершинами. Следовательно, результат суммирования по формуле (1) указывает все простые пути в ГС и определяет, таким образом, матрицу достижимости (рис. 3).

Свойство 8. Любые две вершины ГС соединимы.

Доказательство следует из того соображения, что из любой вершины ГС существует простой полупуть до корня, а из корня достижима любая вершина ГС. Следовательно, любые две вершины ГС соединимы, по крайней мере, через корень.

Свойство 9. ГС является слабо связным (слабым) орграфом со степенью (категорией) связности, равной 1.

Это свойство определяется тем, что любая пара вершин ГС является соединимой (восьмое свойство), но не обладает свойствами ни сильно связного орграфа (двухсторонней достижимостью всех вершин), ни односторонне связного орграфа (односторонней достижимостью всех вершин) [4].

Интегральные характеристики модели содержания

Введём некоторые характеристики, позволяющие анализировать структуру учебных материалов УМК.

1. Число учебных элементов *n*. Эта характеристика определяет число вершин ГС и характеризует, хотя и не в полной мере, объём учебного материала. Величина $n \geq 1$ и $n \neq 2$ (первое свойство ГС).

2. Число уровней (оснований) структуризации *U*. Величина U показывает число уровней (глубину структуризации учебного материала), степень иерархической вложенности одних учебных элементов в другие. Её определяют две следующие теоремы.

Теорема 1. Для ГС с матрицей смежности A показатель степени t в ряду матриц A, A^2, …, A^t, A^{t+1}, … определяет число уровней структуризации U, если среди коэффициентов A^t есть кроме нулей хотя бы две единицы, а в матрице A^{t+1} все коэффициенты равны нулю.

Доказательство. В соответствии с третьим свойством ГС показатель степени t в матрице A^t определяет наличие в ГС путей длиной t, причем эта длина соответствует самым длинным путям. Все пути в ГС являются простыми (четвертое свойство ГС), и из любой вершины возможен переход только на нижестоящий уровень структуры ГС. Следовательно, величина самого длинного пути t равна числу уровней структуризации U. На последнем уровне структуризации должно быть не менее двух вершин (что соответствует двум единицам в матрице A^t), поскольку в соответствии с пятым правилом построения ГС вышестоящая вершина должна быть смежной не менее чем с двумя нижестоящими вершинами.

Теорема 2. Максимально возможная глубина структуризации ГС учебного материала $Umax$ зависит от числа УЭ n ($n \geq 1$, n№2) и определяется следующими соотношениями:

$$Umax = (n - 1)/2$$
для нечётных n = 1, 3, 5, 7, … ; (2)

$$Umax = (n - 2)/2$$
для чётных n = 4, 6, 8, … . (3)

Доказательство. Прирост n от 1 или от 4 с шагом 2 дает максимальное приращение U на единицу, если структуризацию производят по схемам, показанным на рис. 4. Обобщая эти схемы, получим выражения (2, 3). Величина n=2 из рассмотрения исключается в соответствии с пятым правилом построения ГС.

3. Относительная глубина структуризации учебного материала

$$\overline{U} = U/U_{max}. \quad (4)$$

Всегда полезно определять величину $\overline{U}$ и близость её к предельному значению, равному единице, чтобы оценить использование потенциала иерархической структуризации.

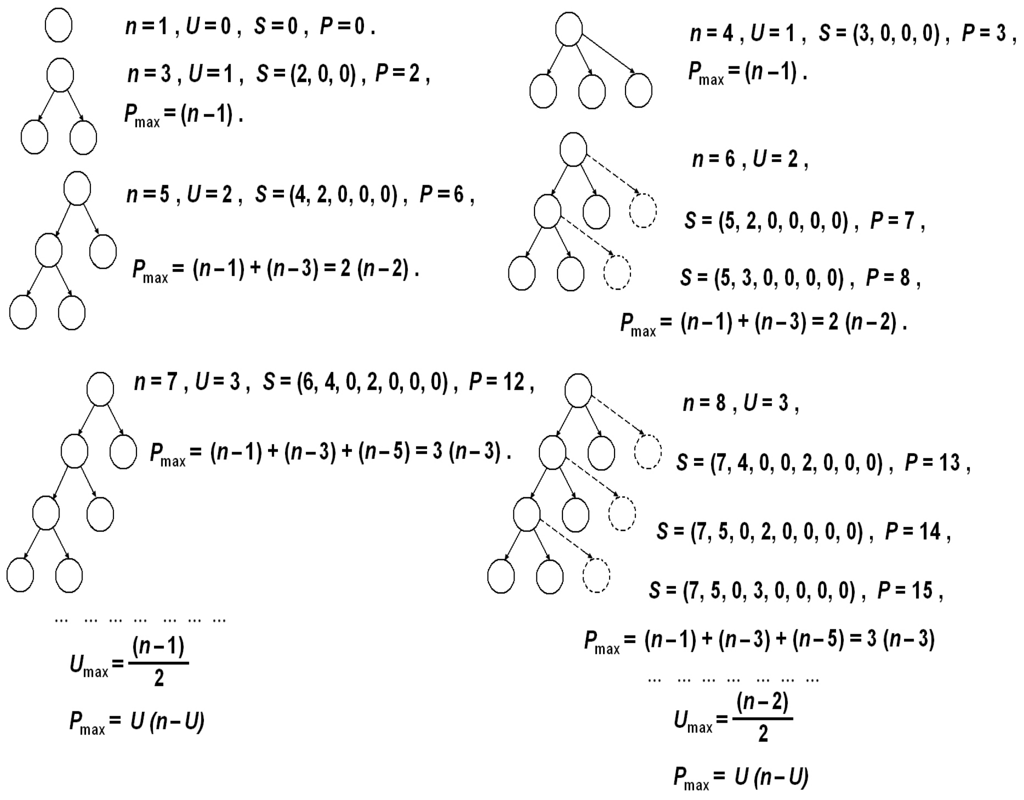

Рис. 4. К теоремам 2 и 3

Так, для приведённого выше примера ГС (рис. 1) $U=Umax=2$, а $\overline{U}=1$, что означает предельно возможную глубину иерархической структуризации.

4. Вектор структуризации учебного материала

$$S = (D_c - I)E, \tag{5}$$

где D_c – матрица достижимости; I – единичная матрица; E – вектор-столбец из n единиц.

Вектор S позволяет оценить степень структуризации всех УЭ. Каждый коэффициент S_i вектора S определяет скалярную величину - степень структуризации УЭ с номером i (т. е. количество входящих в него нижестоящих УЭ). Так, для приведённого примера ГС (рис.1) $S = (4, 2, 0, 0, 0)$. Анализ вектора S позволяет чётко выделить локальные, независимые УЭ, величина S_i для которых равна нулю, и интегрированные УЭ, которые обобщают, иерархически включают в себя другие УЭ (величина S_i для таких УЭ больше нуля). Таким образом, УЭ с $S_i = 0$ можно использовать по идеологии SCORM как локальные независимые учебные объекты (SCOs). Их можно готовить независимо от других учебных объектов и помещать вместе с соответствующими метаописаниями в хранилища цифровых ресурсов для многократного повторного использования.

5. Степень разветвлённости модели содержания учебного материала. Будем обозначать эту характеристику P и определим её по формуле

$$P = E^T S = E^T(D_c - I)E. \tag{6}$$

Величина P характеризует разветвлённость графа содержания учебного материала. Её связывает с числом УЭ и числом уровней структуризации следующая теорема.

Теорема 3. Степень разветвлённости P модели содержания учебного материала зависит от числа уровней структуризации U и числа УЭ n ($n \geq 1$, $n \neq 2$) и связана с ними неравенствами:

$$n\text{-}1 \leq P \leq U(n\text{-}U); \tag{7}$$

$$n\text{-}1 \leq P \leq (n^2\text{-}1)/4$$
для нечётных $n=1, 3, 5, 7, \ldots$; (8)

$$n\text{-}1 \leq P \leq (n^2\text{-}2)/4$$
для чётных $n=4, 6, 8, \ldots$. (9)

Доказательство. Минимальный уровень разветвлённости при любом $n \geq 3$ можно получить, если число уровней структуризации $U=1$ и все УЭ непосредственно связаны с корнем. Тогда $P_{min} = n\text{-}1$, что выполняется и для $n=1$.

Анализируя схемы структуризации на рис. 4, можно получить общую формулу для определения значения P, максимально возможного для заданных значений U и n: $P_{max} = U(n\text{-}U)$. Таким образом, из вышеизложенного следует неравенство (7). Далее, подставляя в выражение (7) неравенства (5, 6), получим соответственно неравенства (8, 9).

6. Относительная степень разветвлённости модели содержания учебного материала

$$\overline{P} = P / P_{\max} = P / (U(n-U)). \tag{10}$$

7. Средний уровень представления учебного материала

$$\beta_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \beta_i / n. \tag{11}$$

8. Средний уровень усвоения учебного материала

$$\alpha_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i / n. \tag{12}$$

9. Средний уровень осознанности учебного материала

$$\gamma_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i / n. \tag{13}$$

Усреднённые целевые показатели, определяемые по формулам (11-13), позволяют сравнивать между собой различные учебные материалы, прогнозировать трудоёмкость их изложения при подготовке ЭОР, трудоёмкость подготовки упражнений для тренинга и контроля. Чем больше величина этих показателей, тем выше трудоёмкость. Например, если $1<\alpha_{cp}<2$, то упражнения для тренинга и контроля должны включать два блока: первый на уровне знакомства (α=1), второй на уровне воспроизведения знаний (α=2).

Для приведённого выше примера модели содержания (рис. 1 и табл. 1) интегральные характеристики имеют следующие значения: $n = 5$, $U = 2$, $\overline{U} = 1$, $S = (4, 2, 0, 0, 0)$, $P = 6$, $\overline{P} = 1$, $\beta_{cp} = 3$, $\alpha_{cp} = 1.6$, $\gamma_{cp} = 2$.

Таким образом, используя интегральные характеристики модели содержания, можно анализировать и сравнивать различные учебные материалы между собой, оценивать трудоёмкость подготовки ЭОР уже на стадии их проектирования.

Автоматизация проектирования модели содержания

Рассмотренные выше алгоритмы позволяют автоматизировать процесс подготовки модели содержания [5]. Разработчик ЭОР создает в диалоге с компьютером множество номеров УЭ и устанавливает иерархические связи между ними, заполняя значения целевых показателей в спецификации модели содержания. При этом компьютерная программа контролирует структуру ГС согласно правилам его построения, визуализирует ГС, формирует матрицы смежности, достижимости и расстояний, вычисляет интегральные характеристики модели содержания, формирует оглавление компьютерного учебного пособия. Использование компьютера позволяет работать с подробными моделями содержания, состоящими из нескольких десятков УЭ, что практически нереально при подготовке моделей вручную.

Заключение

Представление структуры электронного образовательного ресурса в виде рассмотренной модели содержания позволяет:

- выделить необходимый материал из изучаемой учебной дисциплины, разбить его на отдельные учебные элементы, представить в виде наглядной и обозримой схемы, чётко определить дидактические требования по его представлению и изучению;

- привлечь экспертов и заказчиков ЭОР для обсуждения полноты содержания учебного материала и целевых показателей по его представлению и изучению уже на начальной стадии проектирования ЭОР;

- сформировать системное (целостное) представление содержания ЭОР как у разработчиков, так и у пользователей ЭОР (преподавателей-тьюторов и учащихся);

- оценить и сравнить различные учебные материалы по объёму, степени структурированности, разветвлённости, дать прогноз по трудоёмкости, количеству и типу требуемых упражнений для тренинга и контроля;

- вести разработку ЭОР в соответствии с международными спецификациями SCORM.

Предлагаемые алгоритмы формирования и способы представления модели содержания позволяют автоматизировать процесс её построения и дидактического анализа в форме визуального интерактивного диалога разработчика ЭОР в инструментальных авторских средах [5].

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Библиографический список

1. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. - Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1977. - 303 с.

2. Белкин Е.Л. Дидактические основы управления познавательной деятельностью в условиях применения технических средств обучения. - Ярославль: Верх.-Волж. кн. изд-во, 1982. - 107 с.

3. Соловов А.В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения: учебное пособие. - Самара: СГАУ, 1995. - 140 с.

4. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. - М.: Наука, 1986. - 494 с.

5. Соловов А.В., Меньшикова А.А. Авторские инструментальные программные средства системы КАДИС // Современные научно-методические проблемы высшего образования: сборник трудов. Выпуск 2. - Самара: СГАУ, 2002. - С. 149-162.

References

1. Bespalko V.P. Bas of the theory of pedagogical systems. Voronezh: Publishing house of Voronezh university, 1977. 303 pp.

2. Belkin E.L. Didactic basis of management of cognitive activity in conditions of application of means of training. Yaroslavl: Publishing house, 1982. 107 pp.

3. Solovov A.V. Designing of computer systems of educational purpose: the manual. Samara: SSAU, 1995. 140 pp.

4. Roberts F.S. Discrete mathematical models with applications to social, biological and ecological problems. M.: Science, 1986. 494 pp.

5. Solovov A.V., Menshikova A.A. Author's tool software of system CADIS // Modern scientific-methodical problems of higher education: the Collection of works. Release 2. Samara: SSAU, 2002. pp. 149-162.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE CONTENT OF ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES

© 2009 A. V. Solovov

Samara State Aerospace University

Rules of constructing models of the content of electronic educational resources based on tree oriented graphs are formulated. Mathematical properties of these models are discussed and their integral characteristics are introduced. The proposed approach to content modeling is in good agreement with the SCORM international specifications of electronic education, it complements them with target indicators, algorithms of didactic designing and analysis of educational materials.

Electronic education, electronic educational resources, structurization of educational material, content model, tree oriented graphs, SCORM.

Информация об авторе

Соловов Александр Васильевич, кандидат технических наук, профессор, директор центра новых информационных технологий, профессор кафедры общей информатики, Самарский государственный аэрокосмический университет. Область научных интересов: проблематика электронного обучения. E-mail: solovov@ssau.ru.

Solovov, Alexander Vasilyevitch, candidate of technical science, professor, director of the centre of new information technologies, professor of the department of general information science, Samara State Aerospace University/ Area of research: problems of electronic education. E-mail: solovov@ssau.ru.